

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL
ECUADOR**

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE:**

INGENIERO CIVIL

**APLICACIÓN DE EVALUACIÓN TÉCNICO VISUAL EN
ESTRUCTURAS DE VIVIENDA ANTE FENÓMENOS NATURALES
EN EL SECTOR CLUB LOS CHILLOS, CALLE ANTURIOS HASTA
INTERSECCIÓN DE LA CALLE DE LA ROSA**

AUTORES:

**ERICK FELIPE GARCÍA ROMÁN
PABLO ANDRÉS PADRÓN BUSTOS**

DIRECTOR:

INGENIERO WILSON CANDO

QUITO, 2016

DEDICATORIA

A Dios y mi Lolita por darme sabiduría para seguir adelante en momentos difíciles.

A mis padres Edison y Margarita, gracias por tanto sacrificio que han hecho posible terminar mis estudios, esta tesis y este título es tan mío como de ustedes. Pas, no tengan duda que siempre serán mi ejemplo a seguir. Les amo con todo mi corazón.

A mi abuelita Esperanza y mami Nelicita, ejemplo de fortaleza y sencillez a largo de mi vida.

A mi papi Segundito que siempre estuvo a mi lado, y ahora desde el cielo, será quien me cuide en este largo camino que me queda por recorrer.

A mi familia, que siempre estuvo pendiente de mí en cada momento de mi vida.

ERICK

A mis Padres, Guido y Anita, que con su apoyo constante e inmenso cariño, me impulsan a cumplir mis metas en la vida.

A mi Hermano Carlos, Familiares, Amigos y mis Topos que siempre me han acompañado y brindado sabios consejos para continuar en esta incansable lucha y por estar a mi lado en todo momento.

A mis Profesores, que han sido una excelente guía y me han brindado su amistad, especialmente a Wilson, Jorge y Juan Sebastián, preparándome de la mejor manera con todas sus enseñanzas.

A Dios, a mi Lola, por cada una de sus bendiciones y sabiduría que han aportado para mi crecimiento en la vida.

A mi mejor amigo, Erick que el destino nos puso desde el inicio de esta increíble experiencia universitaria y poder concluir con el objetivo que nos propusimos.

PABLO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la capacidad de seguir adelante cuando parecía que se me agotaban las fuerzas.

A mi Lolita que bajo su manto me protege, gracias por cobijarme en esta etapa de mi vida.

A mis padres, que, gracias a sus valores, y fortaleza han hecho de mí la persona que soy ahora. Todo lo que soy se los debo a ellos, por todos los consejos, sacrificios realizados, y toda la energía invertida, además les agradezco por toda la confianza depositada en mí, espero estén orgullosos de lo que soy.

Un agradecimiento a todos mis profesores que a lo largo de la carrera supieron inculcar en mí la pasión por la Ingeniería Civil.

Un agradecimiento especial a mi director de tesis Ingeniero Wilson Cando que me supo guiar a través del desarrollo de esta disertación, a mis correctores Ingeniero Jorge Bucheli y Sebastián Baquero por la confianza brindada, y todos sus consejos.

A mi familia, gracias por todo el apoyo que me brindan siempre, este logro es solo un reflejo de toda la confianza que han tenido en mí.

A mi cookie, que siempre vio en mí el potencial necesario para alcanzar este objetivo, y me brindó su apoyo incondicionalmente a lo largo de mi carrera.

A mis Topos que han hecho de este tiempo en la universidad algo que atesoraré con mucho cariño para toda la vida. Gracias por tantas alegrías.

Un agradecimiento especial a Arquitecto Xavi Vega, que con su ayuda hizo posible el desarrollo de esta tesis.

Y a mi amigo y compañero de tesis, Pablo Padrón, que desde prepo con el lema, “Todo es cuestión de meterle fe”, nada nos quedó grande, y ahora estamos cumpliendo este sueño.

ERICK Y PABLO

RESUMEN

La presente disertación tuvo como fin evaluar la vulnerabilidad de un grupo de viviendas del sector del “Club Los Chillos”, ubicado en la parroquia de Sangolquí, provincia de Pichincha, frente a desastres naturales, como sismos o erupción volcánica.

El sector de “Club Los Chillos” se encuentra dentro de la franja de riesgo en caso de la erupción del volcán Cotopaxi. Además, su ubicación corresponde a una zona de alto riesgo sísmico. Por lo que se realizó la evaluación técnica visual de las viviendas para determinar su vulnerabilidad, utilizando documentos presentados por la Agencia Federal para el manejo de emergencias (Federal Emergency Management Agency) FEMA y por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos.

Se determinó el porcentaje de viviendas con mayor grado de vulnerabilidad, frente a sismo y erupción volcánica. En las cuales, se identificó las características que perjudican el desempeño de la estructura, factores como: año de construcción, irregularidades verticales y en planta afectan el comportamiento de la vivienda frente a un sismo, así como viviendas construidas bajo el nivel de la calzada cambian el comportamiento de la vivienda en caso de erupciones volcánicas.

Con los resultados obtenidos de esta disertación, se creó una fuente de información para la población del sector. La cual servirá como base para tomar medidas de prevención y evitar pérdidas, tanto materiales como humanas, en caso de presentarse un evento como los antes mencionados

ABSTRACT

The main objective of this thesis was to evaluate the vulnerability of a group of buildings in “Club Los Chillos”, located in Sangolquí, facing natural disasters such as earthquakes or volcanic eruption.

“Club Los Chillos” is within the range of risk in case of the eruption of Cotopaxi volcano. Also, its location is an area of high seismic risk. For these reasons, the rapid visual screening to determine vulnerability was done, using documents filed by the Federal Emergency Management Agency (FEMA) and National Secretary for Risk Management.

The percentage of buildings with a higher degree of vulnerability against earthquake and volcanic eruption was determined. In where, factors like, year of construction, vertical irregularities and plan irregularity, affect the behavior of the buildings against earthquake. Also the constructions which are built below the level of the road, have a poor behavior against volcanic eruptions.

With the results of this dissertation, a source of information for the people who live in this sector was created. Which will serve as the basis for preventive measures and avoid losses, both material and human, in case of an event such as the aforementioned.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
CAPITULO I GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 ObjetivoS	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivo específico	2
1.3 Identificación del problema	3
1.4 Justificación	6
1.5 Alcance	13
CAPITULO II JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	14
2.1 Riesgo Sísmico	14
2.1.1 Sismicidad en Ecuador	14
2.1.2 Riesgo amenaza y vulnerabilidad	17
2.1.3 Método de análisis de vulnerabilidad.....	19

2.1.4	Método de evaluación visual rápida.....	20
2.1.5	Descripción del método	20
2.1.6	Formulario de evaluación.....	22
2.1.7	Factores que intervienen la vulnerabilidad sísmica de la estructura	25
2.1.8	Criterios de evaluación.....	38
2.1.8	Ejemplo de evaluación utilizando FEMA P-154	41
2.2	Riesgo Volcánico	42
2.2.1	Volcanismo en Ecuador	42
2.2.2	Metodología de análisis de vulnerabilidad.....	44
2.2.3	Descripción del método	45
2.2.4	Formulario de evaluación.....	46
2.2.5	Factores que intervienen en la vulnerabilidad de la estructura frente a una erupción volcánica	48
2.2.6	Criterios de evaluación.....	49
2.2.7	Ejemplo de evaluación utilizando el formulario de SNGR.....	50
CAPITULO III DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO		51
3.1	Localización y delimitación.....	51

3.2	Características físicas de la zona	52
3.2.1	Geología	52
3.2.2	Hidrología	53
3.3	Antecedentes de desastres naturales	54
3.3.1	Sismos	54
3.3.2	Volcán Cotopaxi	56
3.3.3	Comportamiento e historia eruptiva del volcán	58
3.3.4	Tipos de fenómenos volcánicos ocurridos en el volcán Cotopaxi	61
3.3.5	Reactivación del Volcán Cotopaxi año 2015.....	64
3.4	Crecimiento urbanístico y demográfico.....	65
3.4.1	Crecimiento urbanístico	65
3.4.3	Densidad de población	66
3.4.4	Densidad de viviendas	66
3.5	Infraestructura	67
3.6	Zonas de evacuación	67
CAPITULO IV ESTUDIO DE VULNERABILIDAD		70
4.1	Vulnerabilidad sísmica	70

4.1.1	Datos obtenidos “Club Los Chillos”	70
4.1.2	Mapa vulnerabilidad en viviendas del sector	70
4.1.3	Interpretación de resultados	71
4.1.4	Sismo 7.8, epicentro en Pedernales.....	75
4.2	Vulnerabilidad volcánica	76
4.2.1	Datos obtenidos “Club Los Chillos”	76
4.2.2	Mapa de vulnerabilidad en viviendas del sector	76
4.2.3	Interpretación de resultados	77
4.2.4	Vulnerabilidad de edificaciones dentro de la franja de peligro de lahar. 79	
4.2.5	Mapa de vulnerabilidad en viviendas del sector	80
4.2.6	Interpretación de resultados	80
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		81
REFERENCIAS		86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de las diferentes zonas sísmicas, de acuerdo al coeficiente Z	5
Tabla 2: Factor Z, sector Sangolquí.....	6
Tabla 3: Intensidad registrada en las diferentes provincias del Ecuador, debido al terremoto del 16 de abril de 2016	8
Tabla 4: Relación entre escala de Mercalli y Richter	9
Tabla 5: Volumen y altura estimada de Lahares en diferentes sectores debido al desbordamiento del rio Santa Clara	10
Tabla 6: Volumen y altura de Lahar estimados, en el sector de Club Los Chillos..	10
Tabla 7: Principales sismos en el Ecuador	15
Tabla 8: Zonas sísmicas, FEMA P-154.	23
Tabla 9: Sistemas estructurales mencionados en FEMA P-154	26
Tabla 10: Clasificación de suelo de acuerdo a FEMA P-154.....	35
Tabla 11: Datos ensayo SPT. Club Los Chillos	37
Tabla 12: Niveles de vulnerabilidad de acuerdo a los diferentes sistemas estructurales	39
Tabla 13:Ponderacion para los diferentes parámetros en evaluación de vulnerabilidad volcánica.....	45

Tabla 14: Parámetros para evaluación de vulnerabilidad volcánica.....	48
Tabla 15: Niveles de vulnerabilidad volcánica.....	49
Tabla 16: Cuadro de resumen de las erupciones volcánicas del Cotopaxi en los últimos 2000 años	61
Tabla 17: Proyección de la población en el área urbana y rural de Rumiñahui	66
Tabla 18: Tiempo estimado de llegada de lahares al sector Club Los Chillos	68
Tabla 19: Resumen de vulnerabilidad sísmica en el sector de estudio.....	70
Tabla 20: Vivienda No.1 con vulnerabilidad sísmica muy alta.....	72
Tabla 21: Vivienda No. 2 con vulnerabilidad sísmica muy alta.....	73
Tabla 22: Vivienda No. 3 con vulnerabilidad sísmica alta	74
Tabla 23: PGA del terremoto del 16 de abril, en el sector de Sangolquí	75
Tabla 24: Resumen de vulnerabilidad volcánica en el sector de estudio.....	76
Tabla 25: Vivienda No. 1 con vulnerabilidad volcánica alta.....	77
Tabla 26: Vivienda No. 2 con vulnerabilidad volcánica alta.....	78
Tabla 27: Resumen de viviendas afectadas, según la franja de peligro que atraviesa el sector de estudio	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zona segura y de riesgos, rutas de evacuación, albergues y refugios temporales. ZONA 6.....	4
Figura 2: Club Los Chillos. Manzana 35 ,40 y 41	4
Figura 3: Mapa de las zonas sísmicas en el Ecuador	5
Figura 4: Falla de Quito	7
Figura 5: Mapa de onda sísmica del terremoto del 16 de abril de 2016	7
Figura 6: Puntos tomados con GPS, para determinar la diferencia de cota entre el rio Santa Clara y el Club Los Chillos.....	11
Figura 7: Clasificación de los métodos para evaluar vulnerabilidad sísmica	19
Figura 8: Diferentes casos de irregularidad en vertical	32
Figura 9: Diferentes tipos de irregularidad en planta	33
Figura 10: Lugar donde se realizó el ensayo de SPT.....	36
Figura 11:Gráfico Profundidad vs NSPT	37
Figura 12: Volcanes en el Ecuador	44
Figura 13: Delimitación del sector de estudio	51
Figura 14: Distancia desde el volcán Cotopaxi hasta Club Los Chillos	52

Figura 15: Sismos originados por las diferentes fallas en el Ecuador- Falla Quito Latacunga.....	54
Figura 16: Volcán Cotopaxi.....	56
Figura 17: Cráter volcán Cotopaxi	57
Figura 18: Posibles áreas afectadas debido a la erupción del volcán Cotopaxi.....	58
Figura 19: Proyección de la población en el área urbana y rural.....	66
Figura 20: Tiempo estimado de los lahares provenientes del volcán Cotopaxi a los diferentes sectores del valle de los Chillos	68
Figura 21: Tiempo de llegada de lahares al Club Los Chillos.....	68
Figura 22: Ruta de evacuación para los moradores del Club Los Chillos	69
Figura 23: Mapa de vulnerabilidad sísmica del sector de estudio.....	71
Figura 24: Mapa de vulnerabilidad volcánica del sector de estudio.....	76
Figura 25: Mapa de vulnerabilidad de viviendas afectadas por la franja de peligro de lahar proveniente del volcán Cotopaxi	80

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

En cuanto a sismos, el suceso más reciente, se presentó el 16 de abril de 2016, un terremoto de 7,8 en la escala de Richter, sacudió la costa del Ecuador, dejando ciudades bastante afectadas, en las cuales se pudo observar muchas estructuras de vivienda colapsadas. Lo que dejó como resultado, numerosas vidas perdidas. Este hecho es calificado como uno de los peores desastres naturales registrados en el país en los últimos años.

En agosto de 2014, un sismo de 5,1 en escala de Richter, fue detectado en la zona de Pomasqui-Pusuqui. El cual causó varios daños estructurales en las edificaciones de la zona. (Yepes, 2014)

El 5 de marzo de 1987, un sismo de 6,9 en la escala de Richter, se produjo en la zona del volcán Reventador, el sector de Sangolquí sufrió daños considerables a ciertas edificaciones, entre ellas, la más importante el daño de la Iglesia matriz del poblado. Que tuvo que ser reparada y reforzada estructuralmente. (Albornoz, 2013)

El día 9 de agosto de 1938 el Valle de Los Chillos presenció un fuerte temblor especialmente en los sectores de Alangasí, Sangolquí y el Tingo, no existen datos de daños en las viviendas. Pero nos indica que el sector no está exento a movimientos telúricos. (Yepes, 2014)

Datos históricos caracterizan a la provincia de Pichincha, como una zona, en la cual, es constante la presencia de sismos, debido a que es atravesada por una gran falla geológica conocida como falla de Quito.

El volcán Cotopaxi, registro una de las erupciones más fuertes, el 26 de junio de 1877, causando un significativo daño a todos los lugares aledaños. La formación de lahares debido al derretimiento de los glaciares que bajaron en todas sus direcciones, destruyeron todo lo que estuvo a su paso. Muchas pérdidas humanas como materiales se registraron aquel día. (Yepes, 2014)

Por esto, en esta disertación, se propone estudiar el comportamiento de las estructuras de vivienda en el sector “Club los Chillos” ($0^{\circ}21'13.38''$ S – $78^{\circ}25'24''$ O) y determinar el grado de vulnerabilidad de las mismas, de acuerdo a sus características estructurales. Frente a un posible sismo o eventual erupción del volcán Cotopaxi.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

- Determinar, mediante la metodología de inspección técnica visual presentada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, y la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgo, el grado de vulnerabilidad de diferentes tipos de estructuras de vivienda del sector “Club los Chillos” ubicado en el sector de Selva Alegre, en un área aproximada de 98525.17 m², en la provincia de Pichincha, frente a desastres naturales como sismo y erupción volcánica.

1.2.2 Objetivo específico

- Recolectar información de todos los tipos de viviendas dentro del sector de estudio y determinar su respectivo grado de vulnerabilidad frente a sismo y erupción volcánica.

- Determinar qué tipo de estructura es la más afectada de acuerdo a sus características estructurales y acabados, frente a sismo o erupción volcánica.
- Realizar el levantamiento catastral del sector de estudio y compararlo con la información del Municipio de Rumiñahui.
- Generar una fuente de información para la población del sector, mediante los resultados obtenidos.

1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El “Club los Chillos” ubicado en el sector de Selva Alegre, se encuentra dentro de la zona de posible afectación en caso de la erupción del Volcán Cotopaxi. De acuerdo a la información otorgada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, el sector corresponde a la Zona 6 de riesgo. Además, se encuentra colindante al río Santa Clara; aumentando el nivel de riesgo en caso de erupción de dicho volcán, ya que los posibles lahares se transportarán por el afluente del río provocando un desbordamiento del mismo.

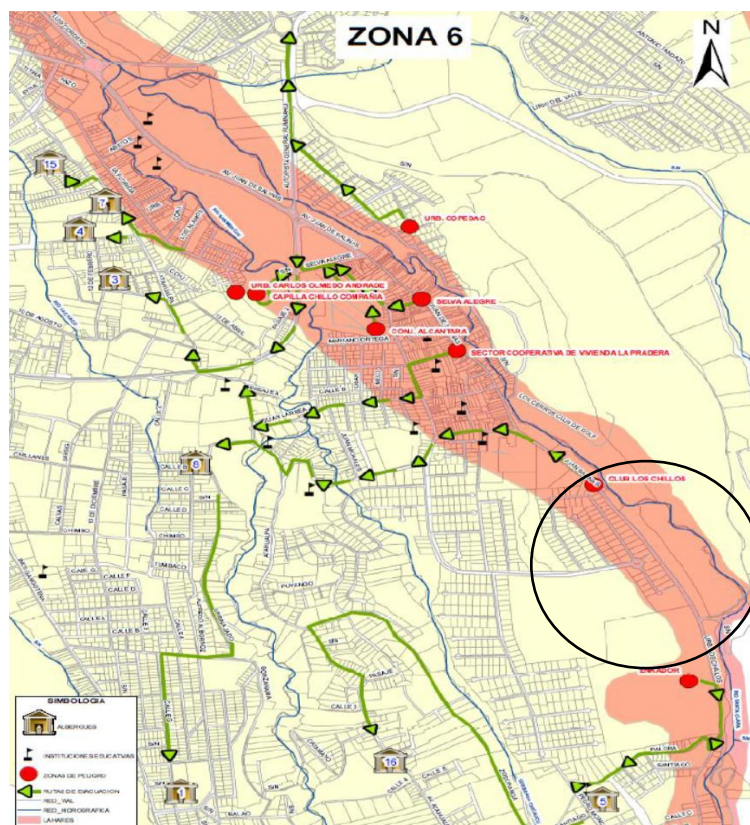


Figura 1: Zona segura y de riesgos, rutas de evacuación, albergues y refugios temporales. ZONA 6.
Fuente: (Santos, 2016)



Figura 2: Club Los Chillos. Manzana 35 ,40 y 41

Así como una posible erupción del volcán Cotopaxi, los sismos representan otra amenaza para este sector. La Provincia de Pichincha, y específicamente el sector del valle de los chillos, se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico (Zona 5) de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

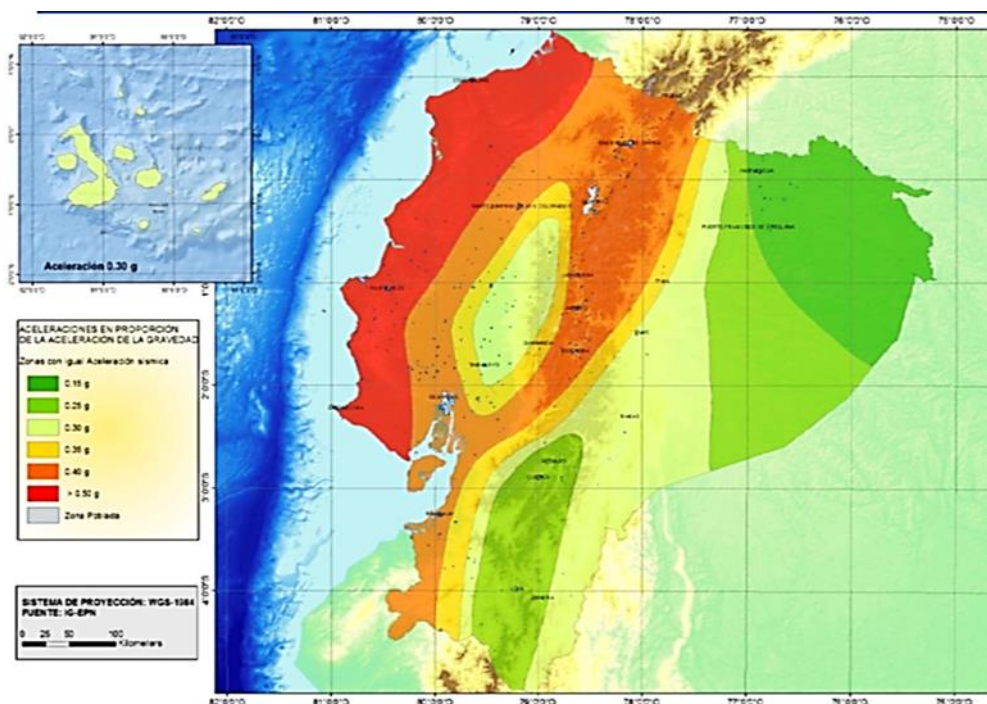


Figura 3: Mapa de las zonas sísmicas en el Ecuador
Fuente: (NEC, 2015)

Tabla 1: Clasificación de las diferentes zonas sísmicas, de acuerdo al coeficiente Z

ZONA SISMICA	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	> 0.50
Característica del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: (NEC,2015)

Tabla 2: Factor Z, sector Sangolquí

POBLACION	PARROQUIA	CANTON	PROVINCIA	FACTOR Z
Sangolquí	Sangolquí	Rumiñahui	Pichincha	0.4

Fuente: (NEC,2015)

1.4 JUSTIFICACIÓN

Los fenómenos naturales representan una amenaza constante a las estructuras tanto públicas como privadas, por esto la importancia de emplear una metodología de evaluación estructural rápida en caso de una posible emergencia.

El valle de los Chillos, se encuentra atravesado por la falla Quito-Latacunga. Esta falla geológica se encuentra en constante movimiento, sin embargo, su superficie de contacto, es relativamente menor, que la superficie que existe entre las placas que se encuentran en la Costa ecuatoriana (Nazca y Sudamericana), las cuales producen sismos de mayor magnitud. A pesar de esto, el sector de Selva Alegre, y en general el valle de Los Chillos, está expuesto a sufrir un sismo fuerte, proveniente de la falla de Quito. El sismo esperado para este sector es de alrededor de 7 grados en la escala de Richter. (Díaz, 2016)



Figura 4: Falla de Quito

Fuente: (RISCHIO, 2014)

El sismo registrado el 16 de abril de 2016, se pudo sentir en la provincia de Pichincha, con una intensidad de 4 en la escala de Mercalli. A continuación, se puede observar en el gráfico, la onda sísmica, que generó el terremoto de magnitud 7.8, y se presenta un cuadro, donde se describe la intensidad sísmica, que se sintió en las diferentes provincias del Ecuador. (BBC, 2016)

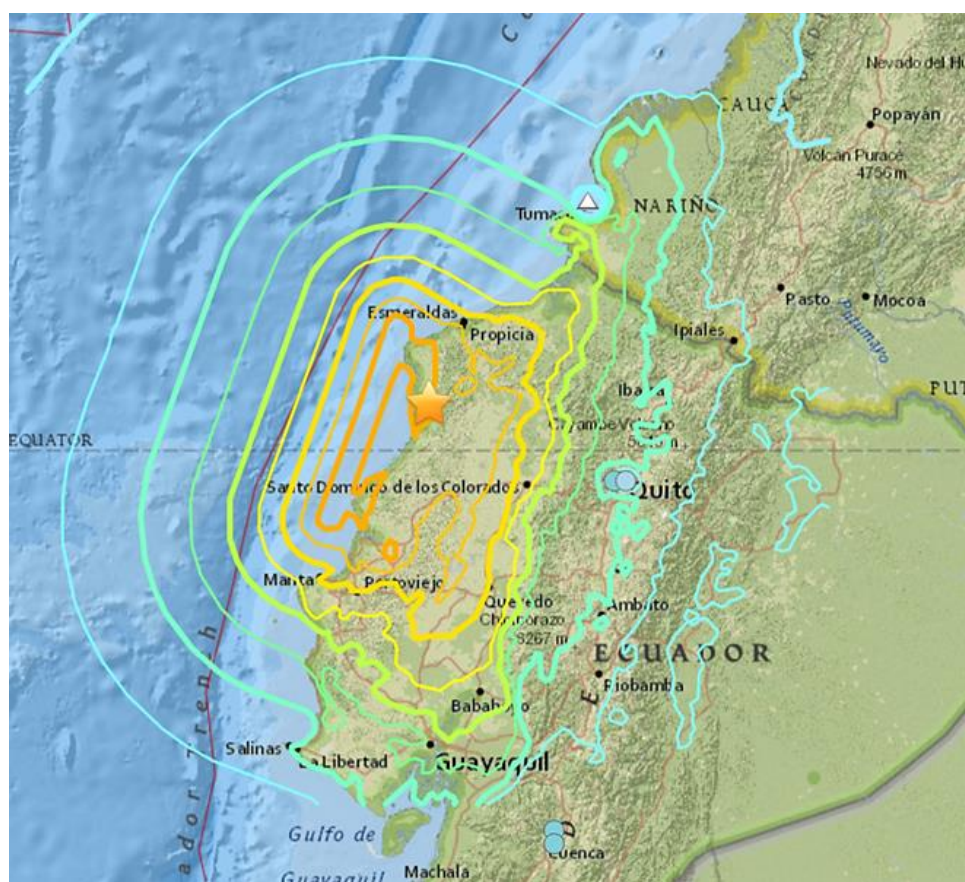


Figura 5: Mapa de onda sísmica del terremoto del 16 de abril de 2016

Fuente: (USGS, 2016)

Tabla 3: Intensidad registrada en las diferentes provincias del Ecuador, debido al terremoto del 16 de abril de 2016

LOCALIDAD	INTENSIDAD SISMICA	CATEGORIA
San José de Chamanga y Pedernales	9	Sismo destructivo
Bahía de Caráquez, Jama y Canoa, centro de Manta y Portoviejo	8	Daños severos
Esmeraldas, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y parte de Santo Domingo de los Tsáchilas	5	Daños severos
Provincias de la Sierra (Sangolquí)	4	No se observan daños de manera general

Fuente: (IGEPN, 2016)

La escala de Richter, mide la fuerza de sismo, es decir la cantidad de energía que es liberada. Mientras que la escala de Mercalli, está basada en lo que siente la población y los efectos que produce el sismo. (Armada de Chile, 2008)

Tabla 4: Relación entre escala de Mercalli y Richter

Escala de Mercalli		Escala de Richter	
I.	Casi nadie lo ha sentido.	2,5	En general no sentido, pero registrado en los sismógrafos.
II.	Muy pocas personas lo han sentido.		
III.	Tembor notado por mucha gente, sin embargo, no suele darse cuenta de que es un terremoto.	3,5	Sentido por mucha gente.
IV.	Se ha notado en el interior de los edificios por mucha gente. Parece un camión que ha golpeado el edificio.		
V.	Sentido por casi todos; mucha gente se despierta. Pueden verse árboles y postes oscilando.		
VI.	Sentido por todos; mucha gente corre fuera de los edificios. Los muebles se mueven, pueden producirse pequeños daños.	4,5	Pueden producirse algunos daños locales pequeños.
VII.	Todo el mundo corre fuera de los edificios. Las estructuras mal construidas quedan muy dañadas; pequeños daños en el resto.		
VIII.	Las construcciones especialmente diseñadas dañadas ligeramente, las otras se derrumban.	6,0	Terremoto destructivo
IX.	Todos los edificios muy dañados, desplazamiento de muchos cimientos. Grietas apreciables en el suelo.		
X.	Muchas construcciones destruidas. Suelo muy agrietado.	7,0	Terremoto importante.
XI.	Derrumbe de casi todas las construcciones. Puentes destruidos. Grietas muy amplias en el suelo.	8,0 o más	Grandes terremotos
XII.	Destrucción total. Se ven ondulaciones sobre la superficie del suelo, los objetos se mueven y voltean.		

Fuente: (Guzmán, 2011)

En el año 2015, en el mes de abril se produce la reactivación del Volcán Cotopaxi. Se registra variación de los parámetros base, de sismicidad y emisión de dióxido de carbono. Lo que indica la actividad inusual del volcán. A mediados del mes de agosto, se presentan emisiones de dióxido de azufre más fuertes, y expulsión de gas, por lo que el volcán entra en estado de emergencia. A raíz de este suceso el sector del Valle de los Chillos, así como otros sectores aledaños al Volcán, entran en una etapa de incertidumbre frente a los posibles escenarios que se puedan presentar ante una posible erupción del mismo. (IGEPN, 2015)

En el siguiente cuadro se detalla el volumen de material que llegaría a los diferentes sitios, en caso del desbordamiento del río Santa Clara. La altura especificada, es tomada desde la cota más baja del río.

Tabla 5: Volumen y altura estimada de Lahares en diferentes sectores debido al desbordamiento del rio Santa Clara

ZONA	ÁREA	VOLUMEN (10 ⁶ m ³)	CAUDAL (10 ³ m ³ /s)		Coef. Manning	MÁXIMA ALTURA (m)		OBSERVACIÓN	AFECTACIÓN
			30%	40%		30%	40%		
<i>Píntag</i>	Barrio Carlos Gavilanes	44,1	14,7	19,6	0.09	20	25	-	Sumergido
<i>Píntag</i>	Club Los Chillos	44,1	14,7	19,6	0.09	22	25	-	Sumergido
<i>Píntag</i>	Selva Alegre	44,1	14,7	19,6	0.09	8	10	-	Inundado
<i>Píntag</i>	Colegio Juan de Salinas	44,1	14,7	19,6	0.09	14	17	-	Sumergido
<i>Píntag</i>	El Choclo	44,1	14,7	19,6	0.09	6	8	-	Inundado
<i>Sangolquí</i>	Emp. Eléctrica Quito	44,1	14,7	19,6	0.09	4	5	Los flujos tienen una extensión de 300 y 260 m a cada lado del río.	Inundado
<i>Sangolquí</i>	River Mall	44,1	14,7	19,6	0.09	3,24	3,60	Los flujos tienen una extensión de 300 m a cada lado del río.	Parcialmente Inundado
<i>Sangolquí</i>	Club de Oficiales	44,1	14,7	19,6	0.09	1,46	2	Los flujos tienen una extensión de 300 y 200 m.	Parcialmente Inundado
<i>Sangolquí</i>	ESPE	44,1	14,7	19,6	0.09	4	4	-	Parcialmente Inundado
<i>Sangolquí</i>	San Luis Shopping	44,1	14,7	19,6	0.09	2	4	-	Parcialmente Inundado
<i>Sangolquí</i>	San Rafael	44,1	14,7	19,6	0.09	5	6	Los flujos tienen una extensión de 300 y 86 m.	Inundado

Fuente: (Carrillo, 2014)

Tabla 6: Volumen y altura de Lahar estimados, en el sector de Club Los Chillos

ZONA	AREA	VOLUMEN (10 ⁶ m ³)	ALTURA MAXIMA (m)	AFECTACION
Píntag	Club Los Chillos	44.1	25	Sumergido

Fuente: (Carrillo, 2014)

La diferencia de cota entre el "Club Los Chillos" y el rio Santa Clara es aproximadamente 13 metros, razón por la cual, en caso de la erupción del volcán, este se desbordaría, dejando el sector completamente sumergido.



Figura 6: Puntos tomados con GPS, para determinar la diferencia de cota entre el rio Santa Clara y el Club Los Chillos

Como referencia de cuan grave puede resultar el desbordamiento de un rio, el ejemplo más reciente ocurre el 26 de abril de 2016, en la parroquia de Alluriquin, provincia de Pichincha, el desbordamiento del rio Damas, tomo por sorpresa a la población, y el lugar quedo inundado, el agua alcanzo los dos metros de altura, y diversas casas fueron afectadas, además dos personas perdieron la vida. (Guerrero, 2016)

La cantidad de material que es transportada por los lahares, es mucho más grande comparada con el desbordamiento de un rio, además del agua de los glaciares, los lahares transportan escombros, rocas, y todo lo que viene llevando a su paso.

El crecimiento de la población en el Valle de Los Chillos en los últimos años, específicamente en el sector del “Club Los Chillos”, ha sido de manera organizada, ya que es una zona relativamente nueva, donde la mayoría de las casas, tienen entre 10 a 15 años de construcción, y donde todavía se sigue construyendo, además por ser un club privado, la distribución de terrenos, y espacios verdes, es la adecuada.

Sin embargo, la ubicación del sector es la principal preocupación para los moradores, debido a las razones ya mencionadas. Es por esto, que la evaluación estructural rápida frente a riesgos naturales, es un complemento necesario para mantener la seguridad de la población creciente.

Con las características mencionadas, se determina que El “Club Los Chillos” se encuentra en una zona vulnerable frente a una erupción del volcán Cotopaxi, además por su ubicación se considera una zona de alto riesgo sísmico. Por estas razones es importante conocer las características de las viviendas del sector y determinar su grado de vulnerabilidad.

Este estudio busca determinar, mediante la evaluación técnica visual, el número y tipo de viviendas que podrán resistir estos fenómenos, con el objetivo de generar una fuente de información para la población y poder, tomar las medidas necesarias en caso de un evento como los anteriormente mencionados.

1.5 ALCANCE

El alcance de esta disertación, es crear una fuente de información para los habitantes del sector del “Club Los Chillos”, específicamente, para aquellos que tienen sus terrenos dentro de la zona de estudio, calle Anturios hasta la intersección de la calle de la Rosa. Donde se encontró un total de 90 lotes, de los cuales 15 son terrenos todavía vacíos. Por lo cual se estima que se beneficiaran alrededor de 350 personas. Los cuales tendrán un respaldo de la situación actual en la que se encuentran sus viviendas, y el grado de vulnerabilidad de las mismas frente a un posible sismo o erupción del volcán Cotopaxi.

No se hace mención a las líneas de servicio básico dentro del área de estudio, aunque se conoce de su importancia dentro de la zona, y que pueden ser afectadas de igual o peor manera en caso de un evento como los anteriormente mencionados, este estudio se enfoca únicamente a la estructura de las viviendas.

CAPITULO II JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

2.1 RIESGO SÍSMICO

2.1.1 Sismicidad en Ecuador

El Ecuador se encuentra ubicado dentro del Cinturón de fuego del Pacífico, lugar donde se produce la mayor actividad sísmica del planeta. Además, varios volcanes, algunos de ellos activos, están localizados en este sitio.

Por esta razón, a lo largo de la historia, nuestro país ha presentado diversos sismos de gran magnitud. Los cuales han producido grandes pérdidas tanto humanas como materiales.

El Ecuador en su parte continental presenta tres regiones:

- Costa o región occidental
- Sierra o región Central
- Oriente o región Oriental

Todas las zonas mencionadas han presentado actividad sísmica y son además recorridas por varias fallas geológicas. Dichas fallas son el producto del constante movimiento de los segmentos de la litosfera.

En el Ecuador, los sismos más fuertes son producto del fenómeno conocido como subducción. En el cual la placa Oceánica Nazca, debido a su movimiento propio, tiende a

sumergirse debajo de la placa continental Sudamericana. (Palacio, Blum, Maruri, Ayón, & Rodríguez, 1988)

Los principales sismos en el Ecuador se mencionan en la siguiente Tabla.:

Tabla 7: Principales sismos en el Ecuador

FECHA	INTENSIDAD	LUGAR	DESCRIPCION
28/04/1755	VIII	Pichincha	Se producen serios daños en edificios públicos y viviendas en Quito. Replicas en las siguientes 8 semanas. (Egred, 2016)
04/02/1997	XI	Chimborazo	Dstrucción total de la antigua ciudad de Riobamba, razón por la cual no fue construida en el mismo sitio. Daños muy severos en ciudades, pueblos cercanos a Tungurahua, Cotopaxi y parte de Bolívar y Pichincha. Gritas muy profundas y anchas. Centenares de réplicas durante varios meses. Gran número de muertos y heridos. (Egred, 2016)
16/08/1868	X	Imbabura	Gran terremoto de la Provincia de Imbabura. Ruina casi total de varias ciudades y pueblos, especialmente en Cotacachi, Ibarra, Otavalo y pueblos intermedios. Grietas profundas y extensas en toda la región. Dstrucción de muchas vías de comunicación, en especial los caminos vecinales. (Egred, 2016)
31/01/1906	IX	Esmeraldas	Se generó un tsunami de grandes proporciones. Sus efectos fueron muy graves en la provincia de Esmeraldas y en el sur de Colombia. Muchas poblaciones de las costas quedaron prácticamente destruidas, ya sea por causa del movimiento terráqueo o como resultado del tsunami que inundó sus costas. Treinta muertos reportados, pero se estima un número mucho mayor, dada la imposibilidad de realizar un conteo real, por las características geográficas de la zona

			y las consecuencias del tsunami. (Egred, 2016)
14/05/1942	IX	Manabí	Terremoto cuyos efectos se extendieron a la mayor parte de las provincias de la Costa y dos de la Sierra. Daños en Manabí, Guayas, Los Ríos, Esmeraldas, Bolívar e Imbabura. Más de 200 muertos. Los heridos se contaron por centenares. Las pérdidas materiales fueron cuantiosas, en especial en Guayaquil. (Egred, 2016)
05/08/1949	X	Tungurahua	Gran terremoto de Pelileo, ciudad que fue totalmente destruida. Ambato en escombros. Destrucción casi total de muchas poblaciones de las provincias de Tungurahua y Cotopaxi. Graves daños en Chimborazo y Bolívar. Grietas en el terreno y derrumbes, así como voluminosos deslizamientos en montes y caminos de toda la región. Área afectada: 1920 km ² . Muertos: 6 000 (dato aproximado). Personas sin hogar: 100 mil reportados: Mayor destrucción: Pelileo (100%), Píllaro (90%), Guano (80%), Ambato (75%). (Egred, 2016)
06/03/1987	IX	Napo	Colapso total de muchas casas, especialmente en el sector rural. Gran cantidad de casas sufrió destrucción parcial. Daños de consideración en templos coloniales, en Quito y otras ciudades de la provincia de Imbabura. Destrucción de varios tramos del oleoducto Trans-Ecuatoriano, que obligó a la suspensión del bombeo de petróleo por varios meses, con serias consecuencias en la economía nacional. Gran cantidad de muertos y desaparecidos. (Egred, 2016)
04/08/1998	VIII	Manabí	Terremoto de severas consecuencias en la provincia de Manabí. Gran destrucción de edificios en Bahía de Caráquez. Daños graves en Canoa, San Vicente y otras localidades cercanas. En otras ciudades de Manabí los daños fueron de menor proporción. (Egred, 2016)

16/04/2016	VIII	Manabí-Esmeraldas	Terremoto de 7,8 en la escala de Richter, tuvo su epicentro en Muisne. Gran destrucción en la provincia de Manabí, ciudades como Pedernales, Portoviejo, Crucita, sufrieron colapsos de edificios y casas. Gran cantidad de fallecidos y desaparecidos. Miles de personas quedaron sin hogar. Carreteras de acceso a estas ciudades destruidas. (Egred, 2016)
------------	------	-------------------	---

Fuente: (Egred, 2016)

2.1.2 Riesgo amenaza y vulnerabilidad

- **Amenaza**

“Probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado” (Maskrey, 1993)

La amenaza puede ser un fenómeno de diferente origen; natural, socio-natural, tecnológico o antrópico. Viene definido por; naturaleza, probabilidad de ocurrencia, magnitud.

Inundaciones, sismos, erupción volcánica, deslizamiento de tierras, etc. Son las amenazas más comunes en nuestro país.

La amenaza en sí, no existe, lo que existe es el fenómeno. La amenaza representa a la comunidad o elementos que se encuentran amenazados por el posible fenómeno que pueda ocurrir. (Chardon & Leonardo, 2002)

- **Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad, puede ser definida de acuerdo al contexto en el cual es empleada. Una de las más importantes es la que menciona. (D’Ercole, Metzger, & Sierra, 2009)

Por ejemplo, podemos decir que la vulnerabilidad es el grado de daño que puede sufrir una propiedad, al momento de ocurrir un fenómeno destructivo; además, como éste hecho puede generar daños que posteriormente puedan ser peligrosos.

A esta definición, se la conoce como visión sistemática, ya que no solo analiza el daño que sufre un elemento, sino, como este evento puede desencadenar nuevos daños, es decir nuevas vulnerabilidades.

Además, la vulnerabilidad puede ser clasificada como positiva, al medir la capacidad de elementos como, población e infraestructura, determinando las condiciones favorables que estas poseen para resistir un evento destructor.

Vulnerabilidad significa también la incapacidad de anticipar, la resistencia de un elemento para absorber el impacto, y recuperarse una vez acabado el fenómeno. (Chardon & Leonardo, 2002)

Factores físico estructurales de edificación: Corresponde a un análisis de las características de la construcción. Para identificar las debilidades ante las diferentes amenazas naturales. (SNGR, 2012)

- **Riesgo**

Como afirma Maskrey (1993) : “Riesgo es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la Amenaza y la Vulnerabilidad”.

Riesgo, es un valor probable relativo de pérdidas de todo tipo, en un lugar específico, el cual sea vulnerable a cualquier tipo de amenaza. Desde el momento de impacto hasta la reconstrucción del sitio. (Chardon & Leonardo, 2002)

2.1.3 Método de análisis de vulnerabilidad

Los métodos para la evaluación de vulnerabilidad sísmica se dividen en dos grandes grupos, vulnerabilidad calculada o métodos analíticos y vulnerabilidad observada o métodos cualitativos. (Peralta, 2002)

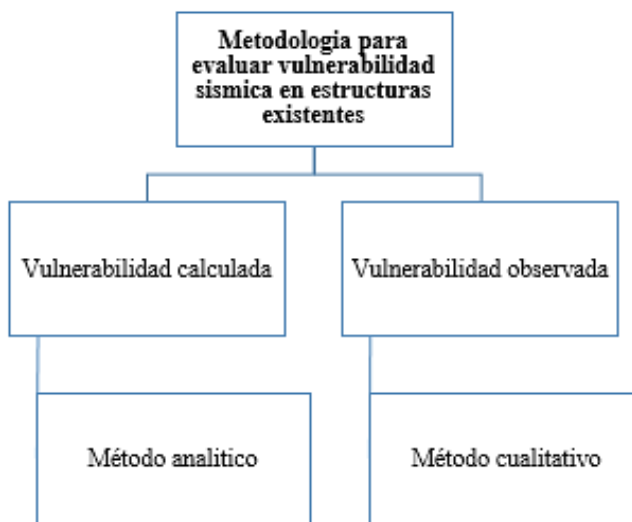


Figura 7: Clasificación de los métodos para evaluar vulnerabilidad sísmica
Fuente: (Peralta, 2002)

- **Métodos analíticos**

Este método se fundamenta principalmente en el uso de códigos utilizados en el diseño de estructuras nuevas para el cálculo de la resistencia, para lo cual se puede utilizar programas de computadora, y analizar el comportamiento dinámico. Y así determinar el daño o vulnerabilidad que puede sufrir sus elementos estructurales. (Peralta, 2002)

- **Métodos cualitativos**

Este método como finalidad tiene la evaluación de manera rápida y sencilla de la estructura, la cual depende de varios factores que influyen en la calificación final de vulnerabilidad. (Hall, Samaniego, Le Pennec, & Johnson, 2008)

El sistema estructural es el principal indicador del cual se parte para la evaluación y dependiendo de factores como ubicación, número de pisos, años de construcción, etc., se determinará la vulnerabilidad final de la misma. (Hall et al., 2008)

2.1.4 Método de evaluación visual rápida

La norma ecuatoriana de la construcción en su capítulo NEC-SE-RE, Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras, se refiere a la inspección y evaluación visual rápida de estructuras, y hace mención a la Norma FEMA 154 con la cual se realizará esta evaluación. (NEC, 2015)

2.1.5 Descripción del método

FEMA (Agencia Federal para manejo de emergencias), tiene entre sus publicaciones la FEMA P-154, Rapid Visual Screening of Buildings. For Potential Seismic Hazards: A Handbook, publicada en enero de 2015, un manual para evaluar la vulnerabilidad sísmica de estructuras existentes.

Este método, tiene como objetivo, formular, identificar y valorar estructuras que presenten un riesgo sísmico potencial. Las cuales podrán ser considerados de bajo, medio o alto riesgo. (FEMA, 2015)

El método de evaluación rápida visual está diseñado para realizar la evaluación de edificaciones en una forma cualitativa, y en ciertos casos cuando no se tiene la información del cálculo estructural. Lo que propone, es identificar el sistema estructural que se va a evaluar, luego las características que van a afectar a la estructura en su comportamiento en el momento de un sismo. (FEMA, 2015)

La información necesaria para este método se estima recolectarla en un rango de entre 30 minutos por edificación. (FEMA, 2015)

Existen cinco formularios de evaluación dependiendo de la zona sísmica donde se realizará el estudio. Cada formulario tiene varios parámetros que incluye, por ejemplo, uso y tamaño de la edificación, fotografía, número de habitantes, tipo de suelo, información respecto a su comportamiento sísmico, etc. (FEMA, 2015)

A continuación, se presenta los pasos que se debe seguir al momento de efectuar la evaluación utilizando este método (FEMA, 2015):

- Verificar y actualizar la información de la edificación
- Caminar alrededor de la edificación y elaborar un esquema de la planta y elevación.
- Estimar la cantidad de personas que habitan.
- Estimar el tipo de suelo sobre el cual se encuentra la edificación.
- Identificar posibles fallas o peligros no estructurales.
- Identificar el sistema estructural.
- Señalar los modificadores de puntaje de vulnerabilidad sísmica, y decidir con el puntaje final si es necesaria una evaluación más detallada.
- Fotografía de la estructura.

2.1.6 Formulario de evaluación

Como se mencionó en la sección 2.1.5 el método visual rápido FEMA P-154 consiste en elegir un formulario de acuerdo a la zona sísmica en la que se encuentre. (FEMA, 2015)

- **Determinar zona sísmica**

La FEMA P-154, tiene varios formularios que se pueden utilizar para evaluar las edificaciones, dependiendo el nivel sísmico de la zona en la cual se va a aplicar la evaluación. Por lo tanto, es necesario determinar la zona sísmica del lugar para escoger el formulario adecuado. (FEMA, 2015)

Observando la figura 3, en la cual se indica las diferentes zonas sísmicas existentes en el Ecuador, y con los datos de la Tabla 1, y Tabla 2, se determina que el sector en el cual se va a realizar el estudio, es un sector de alto riesgo sísmico.

Se establece el valor Z del sector de Sangolquí, el cual indica un valor de $0.4g$, es decir el valor de aceleración en roca máximo que puede presentar el sector.

Región sísmica		Respuesta de aceleración espectral, S_s , (periodo corto, o 0.2 segundos)	Respuesta de aceleración espectral, S , (periodo largo, o 1.0 segundos)
	Bajo	Menor a 0.250g	Menor a 0.100g
	Medio	Mayor o igual a 0.250g, pero menor a 0.500g	Mayor o igual a 0.100g, pero menor a 0.200g
	Medio-Alto	Mayor o igual a 0.500g, pero menor a 1.000g	Mayor o igual a 0.200g, pero menor a 0.400g
	Alto	Mayor o igual a 1.000g, pero menor a 1.500g	Mayor o igual a 0.400g, pero menor a 0.600g
	Muy Alto	Mayor o igual a 1.500g	Mayor a 0.600g

Tabla 8: Zonas sísmicas, FEMA P-154.

Fuente: (FEMA, 2015)

Comparando el valor $Z=0.4g$, del sector de Sangolquí, con los valores propuestos por la norma FEMA P-154, se concluye que el sector corresponde a una alta zona sísmica.

- **Definimos el formulario a utilizar**

La FEMA P-154, presenta cinco diferentes formularios, uno para cada zona sísmica. (FEMA, 2015)

Como se mencionó, la zona sísmica correspondiente al sector de Sangolquí, en donde se encuentra ubicado el Club Los Chillos, es una zona de alto riesgo sísmico, por lo tanto, el formulario a utilizar es el siguiente (FEMA, 2015):

FORMULARIO FEMA P-154. ZONA SISMICA ALTA

Evaluación Rápida Visual de Estructuras frente a Potenciales Riesgos Sísmicos										ALTO RIESGO SISMICO									
FEMA -154 Data Collection Form																			
										Dirección: CLUB LOS CHILLOS-SECTOR SELVA ALEGRE Referencia: No. De Pisos: Encuestador: Área Total de Piso (m2) Nombre de Construcción: Uso:									
										Año de Construcción:								Fecha:	
ESCALA																			
OCUPACION				NUMERO DE PERSONAS				TIPO DE SUELO				RIESGO DE COLAPSO							
Asamblea	Gobernacion	Oficina		0-10		11-100		A	B	C	D	E	F	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Comercial	Historico	Residencial						Roca Dura	Roca Promedio	Suelo Denso	Suelo Rigido	Suelo Suave	Suelo Pobre						
Serv. Emerg	Industrial	Escuela		101-1000		1000+								Chimenea	Parapeto	Revestimiento	Otro		
PUNTAJE BASICO, MODIFICADORES, Y PUNTAJE FINAL, S																			
TIPO DE CONSTRUCCION			W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM		
Puntuacion Basica			3,6	2,,9	2,1	2,0	2,6	2,0	1,7	1,5	2,0	1,2	1,6	1,4	1,7	1,7	1,0		
Irregularidad Vertical Severa			-1,2	-1,2	-1,0	-1,0	-1,1	-1,0	-0,8	-0,9	-1,0	-0,7	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,7		
Irregularidad Vertical Moderada			-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4		
Irregularidad en Planta			-1,1	-1,0	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,4		
Codigo Anterior			-1,1	-0,9	-0,6	-0,6	-0,8	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	0,0		
Ultimo Codigo			1,6	2,2	1,4	1,4	1,1	1,9	N/A	1,9	2,1	N/A	2,0	2,4	2,1	2,1	N/A		
Suelo Tipo A o B			0,1	0,5	0,4	0,6	0,1	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3		
Suelo Tipo E (1-3 pisos)			0,2	0,1	-0,2	-0,4	0,2	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2		
Suelo Tipo E (>3 pisos)			-0,3	-0,9	-0,6	-0,6	N/A	-0,6	-0,4	-0,5	-0,7	-0,3	N/A	-0,4	-0,5	-0,6	-0,2		
PUNTAJE FINAL, S																			
COMENTARIOS																			
															EVALUACION DETALLADA REQUERIDA				
															SI NO				

Fuente: (FEMA, 2015)

2.1.7 Factores que intervienen la vulnerabilidad sísmica de la estructura

- **Identificar el sistema estructural**




Se recomienda identificar el sistema estructural a través de los planos de la vivienda, durante la etapa anterior al trabajo en campo.




Si no es posible determinar el sistema estructural a través de planos, que es el escenario más común debido a que muchas veces los propietarios no poseen los mismo, es necesario realizar este trabajo en campo. Para esto el evaluador debe tomar medidas de espaciamiento entre ventanas, determinar los materiales que han sido utilizados para la construcción y observar la distribución de espacio, y así poder determinar el sistema estructural. (FEMA, 2015)





Si no se puede determinar el sistema estructural y el acceso a la vivienda no es posible, el evaluador debe eliminar todos los sistemas estructurales que no sean posibles y asumir cualquier otro que pueda ser el correcto. (FEMA, 2015)





Los sistemas estructurales de acuerdo a la FEMA 154 son los siguientes (FEMA, 2015):




Tabla 9: Sistemas estructurales mencionados en FEMA P-154

Sistema Estructural	Fotografía	Características
<p>W1</p> <p>Pórtico de Madera liviano, residencial o comercial \leq 5000 pies cuadrados (465 m²)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Paredes entramadas de madera, elementos estructurales de 2x4 pulgadas en elementos de madera verticales, separadas 16 pulgadas entre sí (2x6 pulgadas si la vivienda tiene más de dos pisos). - Como revestimiento los materiales principales son recubrimiento de madera o metal y estucado. - El daño más común en este tipo de estructuras se da en la unión entre la superestructura y la cimentación. (FEMA,2015)
<p>W2</p> <p>Construcción con pórtico de madera $>$ 5000 pies cuadrados (465m²)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Por lo general construcciones de departamentos largos, comerciales, o industriales, de uno a tres pisos, pueden llegar a 6 pisos, pero no es muy frecuente. (FEMA,2015)
<p>S1</p> <p>Pórtico de Acero resistente a momento</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Típico marco resistente a momento donde sus elementos tienen las mismas dimensiones tanto transversal como longitudinalmente. Aproximadamente 20-30 pies. (6-9 metros) - Losa por lo general de concreto, y a veces sobre estructura metálica deck. - Su uso generalmente es comercial, institucional o público. (FEMA,2015)

<p>S2</p> <p>Pórtico de acero arriostrado</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Arriostrados elementos diagonales. Que por lo general no pueden ser vistos desde el exterior. - Utilizados para estructuras largas y estrechas debido a su rigidez. - En sismos recientes se detectó que las fallas en este tipo de edificaciones se producen en las conexiones especialmente en niveles inferiores. (FEMA,2015)
<p>S3</p> <p>Pórtico liviano de acero</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Su sistema estructural consiste en marcos resistente a momento tanto en sentido transversal como longitudinal. - Pueden presentar paredes de mampostería en algunos espacios. - El interior no tiene acabados y su esqueleto estructural es fácilmente visible. - Conexión inadecuada entre losa de cimentación puede causar que las columnas resbalen. (FEMA,2015)
<p>S4</p> <p>Pórtico de acero con muro de corte de concreto</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Fuerzas laterales son resistidas por muros de corte que usualmente rodean el ascensor o escaleras. - Durante un sismo pueden presentarse fisuramiento en las paredes del muro. - Las juntas de construcción de pared pueden ser puntos débiles, y ocasionar falla de corte por debajo de la capacidad esperada. (FEMA,2015)

<p>S5</p> <p>Pórtico de acero con revestimiento de mampostería no reforzada</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Columnas de acero son relativamente finas y pueden estar ocultas en las paredes. - Mampostería puede ser vista en el exterior, con un espaciamiento de 4 pies entre ventanas. - Paredes deben estar alineadas verticalmente. (FEMA,2015)
<p>C1</p> <p>Pórtico de concreto resistente a momento</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Todos los muros expuestos de concreto son de hormigón armado. No columnas de acero rellenas de hormigón. - El detalle de ductilidad de la estructura es un factor importante para su desempeño. - La rigidez relativamente baja puede presentar daños no estructurales importantes. (FEMA,2015)
<p>C2</p> <p>Estructura de concreto con muros de corte</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Generalmente ejecutada in situ. - Paredes de espesor entre 6-10 pulgadas (25 cm) - Se comparten mejor que pórticos de concreto. - Más pesados que los pórticos de acero, pero tiene mayor rigidez gracias a los muros de corte. - Los daños se dan por las discontinuidades verticales o irregularidad en planta. (FEMA,2015)
<p>C3</p> <p>Muro de concreto con revestimiento de mampostería no reforzada</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Columnas y vigas pueden tener el mismo espesor de la pared y pueden ser vistas desde la parte lateral y trasera de la edificación. - Mampostería expuesta al exterior.

		<ul style="list-style-type: none"> - Paredes alineadas verticalmente. (FEMA,2015)
PC1 Tilt up construction		<ul style="list-style-type: none"> - Estructuras típicas de uno o dos pisos de altura, y con planta rectangular. - Paredes conformadas y colocadas en el terreno adyacente para luego ser alzadas a su posición final. - Techo puede ser de madera contrachapada sobre vigas y correas de madera. O sobre estructura tipo Deck. (FEMA,2015)
PC2 Estructura de hormigón prefabricado	 	<ul style="list-style-type: none"> - Vigas y columnas de hormigón prefabricado. - A menudo se emplean mampostería reforzada (ladrillo o bloque) muros de corte. - El desempeño de la estructura es variable, pero por lo general pobre. - Presentan los mismos daños que las estructuras con muro de corte C2. - Se pueden presentar fallas en las conexiones de los elementos prefabricados. - Corrosión de conectores metálicos entre elementos pueden producir fallas. (FEMA,2015)
RM1 Mampostería reforzada con diagrama flexible		<ul style="list-style-type: none"> - Paredes de ladrillo o bloque. - Espesor de la pared de 8-12 pulgadas. - Se debe ingresar a la estructura para determinar si el diafragma es rígido o flexible. - Los sistemas más comunes para piso techo son de madera, metálico liviano, o concreto prefabricado. - Desempeño bueno frente a sismo medianos si tiene un

		adecuado refuerzo y buena lechada con suficiente diafragma de anclaje. (FEMA,2015)
RM2 Mampostería reforzada con diagrama rígido		<ul style="list-style-type: none"> - Pared de ladrillo o bloque. - Espesor de la pared de 8-12 pulgadas. - Se debe ingresar a la estructura para determinar si el diafragma es rígido o flexible. - Los sistemas más comunes para piso techo son de madera, metálico liviano, o concreto prefabricado. - Desempeño bueno frente a sismo medianos si tiene un adecuado refuerzo y buena lechada con suficiente diafragma de anclaje. (FEMA,2015)
URM Edificios de mampostería no reforzada		<ul style="list-style-type: none"> - Usan mortero débil para unir las juntas de mampostería. - Mampostería no reforzada por lo general muestran los ladrillos en la cabecera de la pared. - Desempeño pobre debido a la falta de anclaje en las paredes de pisos y techos. (FEMA,2015)

Fuente: (FEMA, 2015)

Estructuras con más de un sistema estructural

En algunos casos puede presentarse que el evaluador observe que existe más de un sistema estructural en la edificación. Por ejemplo, una vivienda donde los primeros niveles estén formados por pórticos resistente a momento y se haya realizado una ampliación vertical donde se optó por utilizar un sistema de pórtico de madera alivianado. (FEMA, 2015)

Para este caso donde existe dos sistemas estructurales, se debe evaluar por separado cada uno de ellos y la puntuación más baja de los mismos será la puntuación o nivel de vulnerabilidad total de la estructura. (FEMA, 2015)

- **Identificar modificadores de desempeño sísmico**

A continuación, se presenta los diferentes factores que se debe tomar en cuenta en presencia de un sismo para determinar la severidad del impacto en los diferentes tipos de estructuras. Estos factores se presentan en la matriz de puntaje indicado en el formato de evaluación escogido anteriormente.

Altura de la edificación:

El daño que puede sufrir una edificación muchas veces tiene que ver con su altura.

Si la edificación tiene entre 4 a 7 pisos es considerada mediana y su indicador debe ser señalado en el formulario. Si la edificación tiene más de 8 pisos considerada alta y su indicador debe ser señalado en el formulario. (FEMA, 2015)

Irregularidad vertical:

Este modificador aplica para todos los tipos de estructuras. Por ejemplo, si tiene irregularidad vertical que incluye construcciones en pendientes, edificios con pisos blandos, con retrocesos. Además, si tiene irregularidad en elevación o si sus paredes no son verticales se debe aplicar el modificador. (FEMA, 2015)



Figura 8: Diferentes casos de irregularidad en vertical

Fuente: (FEMA, 2002)

Para edificios que están contruidos sobre una pendiente, el problema que existe, se da en que la rigidez horizontal, no es la misma del piso que se encuentra en la parte inferior y superior. (FEMA, 2015)

Edificios con piso débil, son edificios donde, un piso tiene menos resistencia (menos columnas o paredes) que el piso inmediatamente inferior a éste. (FEMA, 2015)

Edificios con piso blando, son aquellos, donde un piso tiene menos rigidez lateral es sumamente menor que la mayoría de los demás. (FEMA, 2015)

- **Irregularidad en planta:**

Esta irregularidad puede afectar a cualquier tipo de estructura. Y si presenta irregularidad en planta o vertical debe aplicarse el modificador. (FEMA, 2015)

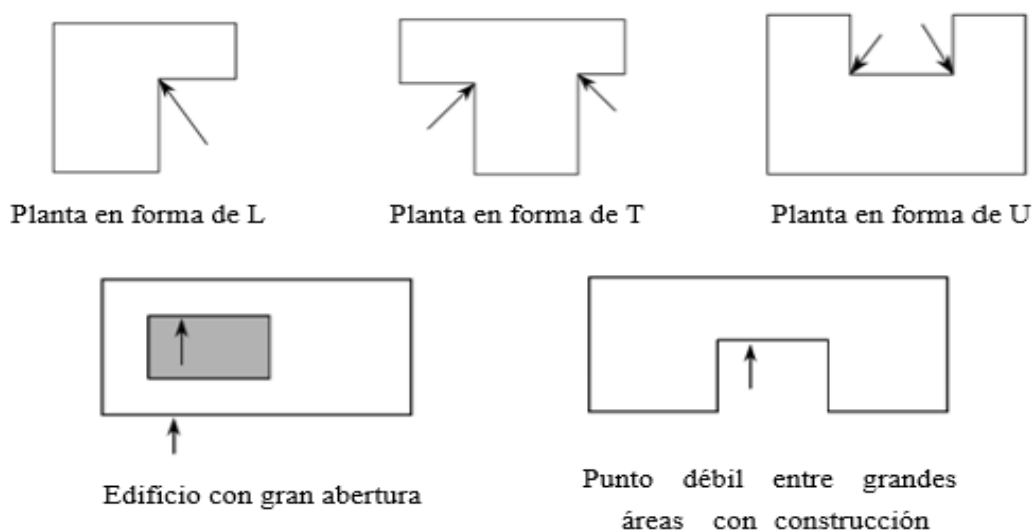


Figura 9: Diferentes tipos de irregularidad en planta

Fuente: (FEMA, 2015)

Cuando existe irregularidad en planta, se produce torsión, se da cuando el edificio tiene una buena resistencia en una de sus direcciones, pero no en la otra. Además, cuando existe excentricidades muy grandes de rigidez, en el sistema resistente a la fuerza sísmica. (FEMA, 2015)

Códigos construcción:

Este modificador se aplica a construcciones que se encuentren en zonas de mediano y alto riesgo sísmico. Que han sido construidas en años anteriores a los cuales los respectivos códigos de diseño han sido aplicados. Este proceso de determinar en qué años los códigos fueron adoptados se lo debe realizar antes del trabajo en campo. Del mismo modo, si la construcción ha sido realizada en años posteriores a la adopción de los diferentes códigos de construcción se debe señalar el modificador indicado en el formulario. (FEMA, 2015)

Para la presente disertación, se ha optado, por considerar todas las estructuras, construidas antes del año 2001, deberán ser tomadas en cuenta como construidas bajo

parámetros de códigos anteriores. Las estructuras que han sido construidas del año 2001 en adelante, son consideradas como construidas bajo parámetros de últimos códigos.

Esto se da debido a que la a partir del año 2001, se ha venido desarrollando la actualización de la Norma Ecuatoriana para la Construcción, hasta llegar a la que actualmente está en vigencia. (NEC,2015)

- **Tipo de suelo:**

Se presentan diferentes tipos de modificadores dependiendo el suelo sobre el cual se encuentre la edificación. Para determinar qué tipo de suelo existe, se presenta la siguiente Tabla. (FEMA, 2015)

Dicha Tabla de clasificación, se basa en ensayos sísmos para algunos casos, SPT, para otros, además de clasificación SUCS y límites de Atterberg.

Tabla 10: Clasificación de suelo de acuerdo a FEMA P-154

TIPO DE SUELO	VELOCIDAD DE ONDA EN ROCA
Tipo A (Roca dura)	> 1524 m/seg
Tipo B (Roca)	Entre 762 y 1524 m/seg
Tipo C (Roca suave y suelo denso)	Entre 365 y 762 m/seg
	N>50
	Resistencia al corte no drenado su >9765 kg/m ²
Tipo D (Suelo Rígido)	Entre 182 y 365 m/seg
	15>N>50
	Resistencia al corte no drenado su 4882>su>9765 kg/m ²
Tipo E (Suelo Blando)	Más de 30 metros de suelo blando
	IP>20
	w%>40
	Resistencia al corte no drenado su su<2441 kg/m ²
Tipo F (Suelo Pobre)	Estos suelos requieren estudios específicos:
	Falla potencial o de colapso frente a cargas sísmicas. Por ejemplo: suelos licuables.
	Turbas o arcillas altamente orgánicas (H> 10 pies de turba o arcilla altamente orgánico, donde H = espesor de suelo.).
	Arcillas de alta plasticidad IP>75

Fuente: (FEMA, 2015)

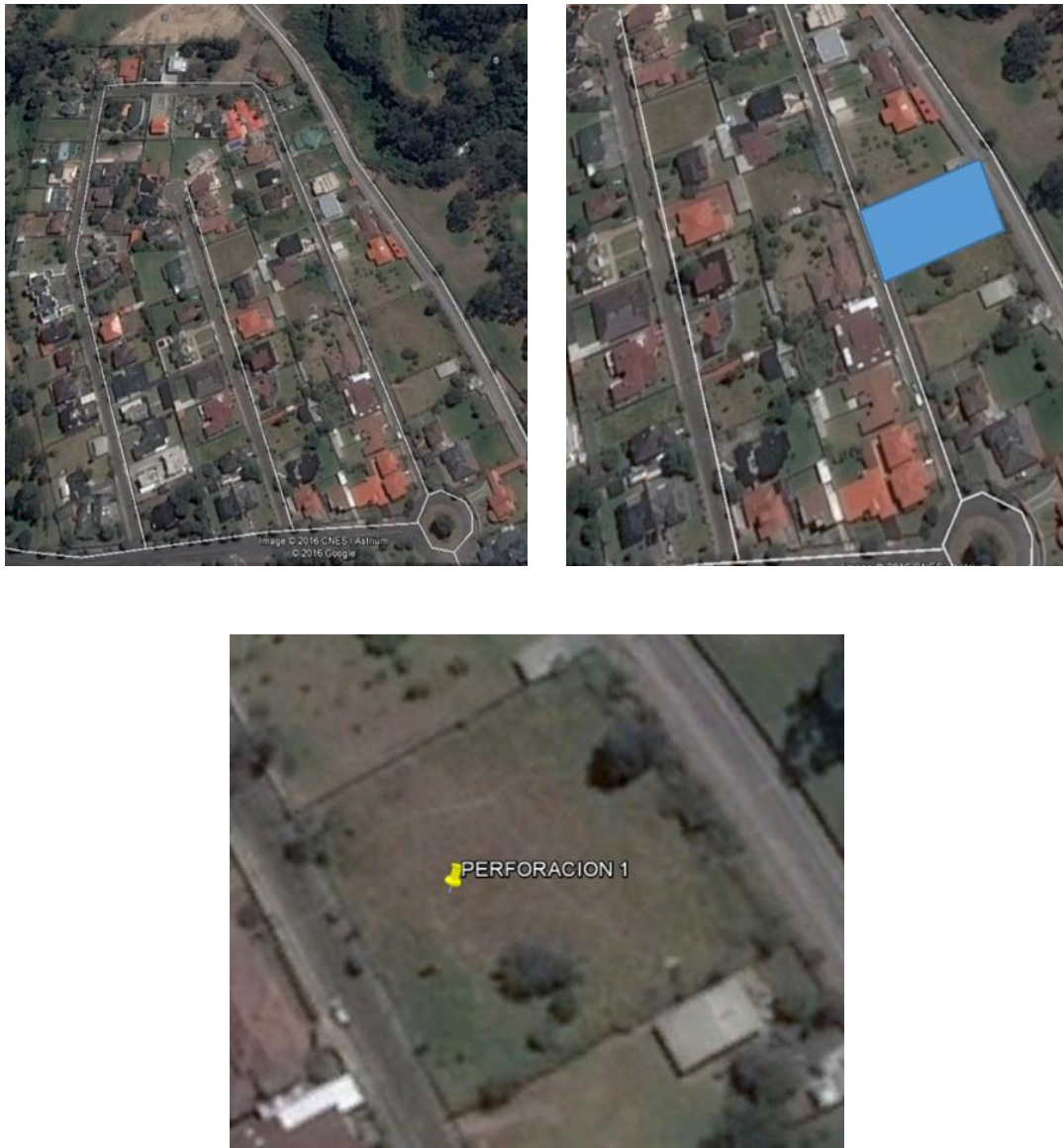
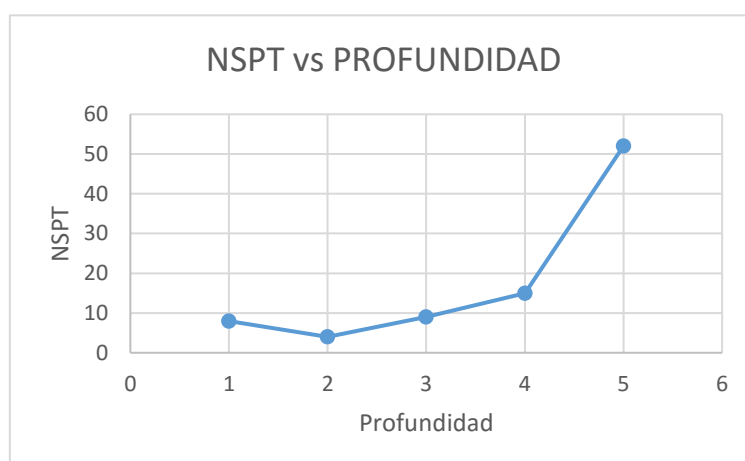


Figura 10: Lugar donde se realizó el ensayo de SPT

Se realizó el ensayo de SPT en el sitio de estudio, donde se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 11: Datos ensayo SPT. Club Los Chillos

Z (m)	N (Valor obtenido en el campo)			N (S.P.T)	Tipo de suelo	Características
	6'	12'	18'			
1	3	3	5	8	ML	Plasticidad media, color café oscuro, con raicillas, húmedo
2	1	2	2	4	ML	Plasticidad baja, color café oscuro, con oxidaciones, húmedo
3	3	3	6	9	ML	Plasticidad media, color café claro, con gravilla y pómez, húmedo
4	4	5	10	15	SM	Plasticidad media, color café claro, con gravilla y pómez, húmedo
5	7	22	30	52	SM	Plasticidad baja, color café claro, con grava, húmedo
6	8	20	28	48	SM	Plasticidad baja, color café claro, con grava, húmedo

**Figura 11: Gráfico Profundidad vs NSPT**

El estrato resistente, se localizó a una profundidad de 5 metros, con un N=50. Lo que indica que se trata de un suelo tipo C.

2.1.8 Criterios de evaluación

Una vez finalizada la evaluación visual por medio del formulario mostrado anteriormente, se obtuvo un puntaje final “S” de la estructura, que se calcula sumando o restando del sistema estructural inicial escogido los diferentes modificadores de puntaje.

De acuerdo a la Norma FEMA P-154 se debe escoger un puntaje “cut-off” (puntaje de partida) como base antes de la evaluación, el valor recomendado como mínimo es $S = 2$, lo que significa que una estructura que tenga un puntaje menor a este necesitará una evaluación más detallada, es decir por cualquier método cuantitativo para evaluar la vulnerabilidad real. Y por ende serán todas las estructuras con puntaje menor a 2 las más vulnerables. (FEMA, 2015)

La vulnerabilidad de las estructuras varía dependiendo del sistema estructural.


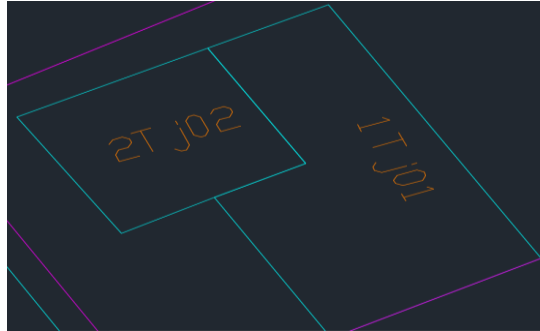
Tabla 12: Niveles de vulnerabilidad de acuerdo a los diferentes sistemas estructurales

Sistema Estructural		Vulnerabilidad
W1	Pórtico de Madera liviano, residencial o comercial ≤ 5000 pies cuadrados (465 m ²)	MA = 2.1
		A = 3.6
		MH = 4.1
		M = 5.1
		B = 6.2
W2	Construcción con pórtico de madera > 5000 pies cuadrados (465m ²)	MA = 1.8
		A = 2.9
		MH = 3.2
		M = 3.8
		B = 5.7
S1	Pórtico de Acero resistente a momento	MA = 1.5
		A = 2.1
		MH = 2.3
		M = 2.7
		B = 3.8
S2	Pórtico de acero arriostrado	MA = 1.4
		A = 0.2
		MH = 2.2
		M = 2.6
		B = 3.9
S3	Pórtico liviano de acero	MA = 1.6
		A = 2.6
		MH = 2.9
		M = 3.5
		B = 4.4
S4	Pórtico de acero con muro de corte de concreto	MA = 1.4
		A = 2.0
		MH = 2.2
		M = 2.5
		B = 4.1
S5	Pórtico de acero con revestimiento de mampostería no reforzada	MA = 1.2
		A = 1.7
		MH = 2.0
		M = 2.7
		B = 4.5
C1	Pórtico de concreto resistente a momento	MA = 1.0
		A = 1.5

		MH = 1.7
		M = 2.1
		B = 3.3
C2	Estructura de concreto con muros de corte	MA = 1.2
		A = 2.0
		MH = 2.1
		M = 2.5
		B = 4.2
C3	Muro de concreto con revestimiento de mampostería no reforzada	MA = 0.9
		A = 1.2
		MH = 1.4
		M = 2.0
		B = 3.5
PC1	Tilt up construction	MA = 1.1
		A = 1.6
		MH = 1.8
		M = 2.1
		B = 3.8
PC2	Estructura de hormigón prefabricado	MA = 1.0
		A = 1.4
		MH = 1.5
		M = 1.9
		B = 3.3
RM1	Mampostería reforzada con diagrama flexible	MA = 1.1
		A = 1.7
		MH = 1.8
		M = 2.1
		B = 3.7
RM2	Mampostería reforzada con diagrama rígido	MA = 1.1
		A = 1.7
		MH = 1.8
		M = 2.1
		B = 3.7
URM	Edificios de mampostería no reforzada	MA = 0.9
		A = 1.0
		MH = 1.2
		M = 1.7
		B = 3.2

Fuente: (FEMA, 2015)

2.1.8 Ejemplo de evaluacion utilizando FEMA P-154

Evaluacion Rapida Visual de Estructuras frente a Potenciales Riesgos Sismicos										ALTO RIESGO SISMICO							
FEMA -154 Data Collection Form																	
										<p>Dirección: CLUB LOS CHILLOS-SECTOR SELVA ALEGRE</p> <p>Referencia: No. De Pisos: 2 Año de Construcción: 2005</p> <p>Encuestador: PP-EG Fecha: 14/05/2106</p> <p>Area Total de Piso (m2) 258</p> <p>Nombre de Construcción: RESIDENCIAL</p> <p>Uso: RESIDENCIAL</p>							
																	
ESCALA																	
OCUPACION			NUMERO DE PERSONAS		TIPO DE SUELO						RIESGO DE COLAPSO						
Asamblea	Gobernacion	Oficina	0-10	11-100	A	B	C	D	E	F	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Comercial	Historico	Residencial			Roca Dura	Roca Promedio	Suelo Denso	Suelo Rigido	Suelo Suave	Suelo Pobre	Chimenea	Parapeto	Revestimiento	Otro			
Serv. Emerg	Industrial	Escuela	101-1000	1000+													
PUNTAJE BASICO, MODIFICADORES, Y PUNTAJE FINAL, S																	
TIPO DE CONSTRUCCION	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM		
Puntuacion Basica	3,6	2,,9	2,1	2,0	2,6	2,0	1,7	1,5	2,0	1,2	1,6	1,4	1,7	1,7	1,0		
Irregularidad Vertical Severa	-1,2	-1,2	-1,0	-1,0	-1,1	-1,0	-0,8	-0,9	-1,0	-0,7	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,7		
Irregularidad Vertical Moderada	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4		
Irregularidad en Planta	-1,1	-1,0	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6	-0,8	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,4		
Codigo Anterior	-1,1	-0,9	-0,6	-0,6	-0,8	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	0,0		
Ultimo Codigo	1,6	2,2	1,4	1,4	1,1	1,9	N/A	1,9	2,1	N/A	2,0	2,4	2,1	2,1	N/A		
Suelo Tipo A o B	0,1	0,5	0,4	0,6	0,1	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3		
Suelo Tipo E (1-3 pisos)	0,2	0,1	-0,2	-0,4	0,2	-0,1	-0,4	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2		
Suelo Tipo E (>3 pisos)	-0,3	-0,9	-0,6	-0,6	N/A	-0,6	-0,4	-0,5	-0,7	-0,3	N/A	-0,4	-0,5	-0,6	-0,2		
PUNTAJE FINAL, S	2,30																
COMENTARIOS													EVALUACION DETALLADA REQUERIDA				
													SI	NO			

2.2 RIESGO VOLCÁNICO

2.2.1 Volcanismo en Ecuador

El Ecuador es un país Andino pequeño con una cantidad impresionante de volcanes activos. De los cuales cuatro de ellos han estado en actividad continua desde 1999, y muchos otros han sido identificados como una amenaza potencial. (Hall et al., 2008)

A lo largo de la historia y hasta el día de hoy se han identificado cuatro agrupaciones lineales con características volcánicas, cada una de ella con diferente morfología, estilo de erupción, petrografía y diversidad química. (Hall et al., 2008)

A continuación, se muestra las diferentes divisiones (Hall et al., 2008):

- **Cordillera Occidental**

Las zonas donde se encuentran los centros eruptivos de esta Cordillera Occidental, recaen sobre lo que se conoce como Frente Volcánico ecuatoriano. Los materiales que en su mayoría conforma la base de la Cordillera son volcano-sedimentos y roca plateau oceánico. (Hall et al., 2008)

Los centros eruptivos se encuentran separados aproximadamente 35 kilómetros entre sí especialmente en la parte central.

Entre las actividades más importantes se encuentran las erupciones de los volcanes Quilotoa, Guagua Pichincha, Pululahua, Cuicocha y Ninahuilca. (Hall et al., 2008)

- **Cordillera Oriental**

Los materiales que conforman principalmente esta Cordillera son rocas metamórficas, mesozoicas y volcánicas terciarias. Los volcanes dentro de esta Cordillera alcanzan alturas hasta 5900 metros sobre el nivel del mar. (Hall et al., 2008)

Los volcanes de esta Cordillera han presentado más actividad en relación a los de la Cordillera Occidental, por ejemplo, el Cotopaxi y Tungurahua han tenido erupciones en un intervalo de tiempo de 100 +- 50 años aproximadamente. Mientras que el Cayambe y Antisana presentan una frecuencia eruptiva menor; Sangay y El Reventador han presentado varias erupciones en el mismo intervalo de tiempo. (Hall et al., 2008)

- **Valle Interandino**

El material característico de esta zona consiste en rocas andesitas básicas. Terreno irregular que se sitúa a lo largo del eje del Valle Interandino con alrededor de docena de volcanes viejos que alcanzan una altura máxima de 4700 metros sobre el nivel del mar. (Hall et al., 2008)

Algunos de los volcanes de este valle son: Ilaló, Pasochoa, Rumiñahui, Cusín, Mojanda, Imbabura. (Hall et al., 2008)

- **Tras arco volcánico**

Pequeño grupo de volcanes que se encuentran en la Amazonia ecuatoriana. Alcanzan alturas de hasta 4000 metros sobre el nivel del mar. Volcanes principales de esta zona: Cerro Negro, Pan de Azúcar y Sumaco. (Hall et al., 2008)

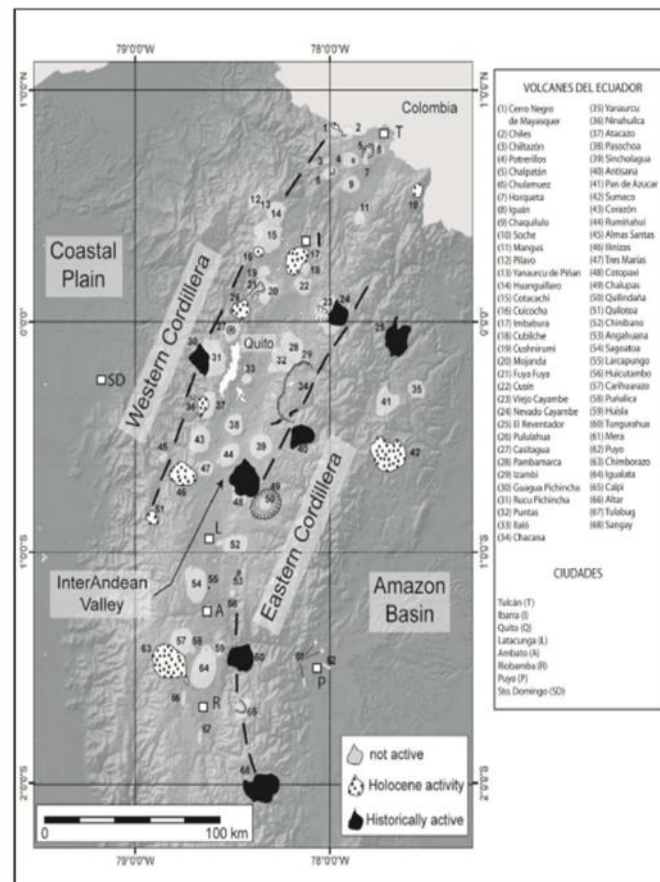


Figura 12: Volcanes en el Ecuador

Fuente: (Hall et al., 2008)

2.2.2 Metodología de análisis de vulnerabilidad

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo presenta una metodología cualitativa para determinar el grado de vulnerabilidad estructural de las viviendas, basándose en las características de cada edificación frente a una posible erupción volcánica. (SNGR, 2012)

Para ello se requiere determinar, todas las variables e indicadores de las edificaciones, las cuales podemos encontrar dentro de los catastros municipales.

Estas variables no son más que parámetros que determinan las principales características de las edificaciones. Que influyen en el comportamiento de las mismas frente a una amenaza. (SNGR, 2012)

2.2.3 Descripción del método

Como se mencionó en el numeral 2.2.2, la metodología de evaluación parte de las características de la edificación que se encuentran en el catastro municipal. Se debe determinar cuál de ellas tienen una incidencia directa en el comportamiento de la estructura frente a una amenaza específica. Calificándola cualitativamente, y luego de realizar una ponderación obtener un valor individual de vulnerabilidad para cada vivienda y cada amenaza. (SNGR, 2012)

Los valores para determinar el grado de vulnerabilidad de la estructura se ponderan de acuerdo a la incidencia que cada variable tiene en el comportamiento de la edificación con respecto a la amenaza. (SNGR, 2012)

Tabla 13: Ponderación para los diferentes parámetros en evaluación de vulnerabilidad volcánica

Variable	Valores posibles del Indicador	Ponderación	Valor máximo
Sistema estructural	0,1,5,10	0.5	5
Material de paredes	0,1,5,10	0.8	8
Tipo de cubierta	0,1,5,10	3	30
Número de pisos	0,1,5,10	1	10
Año de construcción	0,1,5,10	0.4	4
Estado de conservación	0,1,5,10	0.5	5
Característica suelo	0,1,5,10	0.8	8
Topografía del sitio	0,1,5,10	3	30
		Valor mínimo = 0	100

Fuente: (SNGR, 2012)

Como se puede observar en el cuadro anterior cada variable tiene una ponderación distinta, la cual ha sido ajustadas, para que la suma total, presente un valor entre 100 (máxima vulnerabilidad) y 0 (mínima vulnerabilidad).

2.2.4 Formulario de evaluación

VARIABLE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE Y USO DE LA INFORMACION	INDICADORES CONSIDERADOS	AMENAZA VOLCANICA
Sistema Estructural	Describe la tipología estructural predominante en la edificación	Hormigón armado	1
		Estructura metálica	5
		Estructura de madera	10
		Estructura de caña	10
		Estructura pared portante	5
		Mixta madera/hormigón	5
		Mixta metálica/hormigón	5
Tipo de material en paredes	Describe el material predominante utilizado en las paredes divisorias de la edificación	Pared de ladrillo	1
		Pared de bloque	5
		Pared de piedra	5
		Pared de adobe	5
		Pared de madera	5
Tipo de cubierta	Describe el material utilizado como sistema de cubierta de la edificación	Cubierta metálica	10
		Losa H. Armado	1
		Vigas de madera y zinc	10
		Caña y zinc	10
		Vigas de madera y teja	5
Sistema de entrepisos	Describe el tipo y material utilizado para el sistema de pisos diferentes a la cubierta	Losa H. Armado	NA
		Vigas y entramado madera	NA
		Entramado madera/caña	NA
		Entramado metálico	NA
		Entramado hormig/metálico	NA
Número de pisos	Se considera el número de pisos como una variable de vulnerabilidad	1 piso	10
		2 pisos	5
		3 pisos	1
		4 pisos	1
		5 pisos o más	1

	debido a que su altura incide en su comportamiento		
Año de construcción	Permite tener una idea de la posible aplicación de criterios de diseño de defensa contra la amenaza	antes de 1970	10
		entre 1971-1980	5
		entre 1981-1990	1
		entre 1991-2010	0
Estado de conservación	El grado de deterioro influye en la vulnerabilidad de la edificación	Bueno	0
		Aceptable	1
		Regular	5
		Malo	10
Características del suelo bajo la edificación	El tipo de terreno influye en las características de vulnerabilidad	Firme, seco	0
		Inundable	10
		Ciénaga	10
		Húmedo, blando, relleno	5
Topografía del sitio	La topografía del sitio de construcción indica posibles debilidades frente a la amenaza	A nivel, terreno plano	1
		Bajo nivel calzada	10
		Sobre nivel calzada	1
		Escarpe positivo o negativo	10
Forma de la construcción	La presencia de irregularidades en la edificación genera vulnerabilidad	Regular	NA
		Irregular	NA
		Irregularidad severa	NA

Fuente: (SNGR, 2012)

2.2.5 Factores que intervienen en la vulnerabilidad de la estructura frente a una erupción volcánica

Tabla 14: Parámetros para evaluación de vulnerabilidad volcánica

VARIABLE DE VULNERABILIDAD	IMPORTANCIA DE LA VARIABLE
Sistema Estructural	El tipo de sistema resistente estructural es la variable básica a considerarse, que proporciona la información mínima necesaria para iniciar el análisis. Las edificaciones de hormigón armado se consideran menos vulnerables que las de madera, pared portante o mixtas
Tipo de material en paredes	El tipo de paredes define por un lado si la estructura es de paredes portantes o si más obedece a tipologías menos vulnerables
Tipo de cubierta	La cubierta de una estructura no solo proporciona confinamiento al sistema estructural sino califica la debilidad de la misma frente a eventos adversos externos
Sistema de entrepisos	El sistema de entrepisos confina el resto de elementos estructurales y proporciona resistencia ante cierto tipo fallas. Son menos vulnerables los de hormigón armado que las de madera, caña o mixtas
Número de pisos	Si la estructura es más alta, típicamente es más vulnerable que las de un piso, pues requiere mayores esfuerzos y cuidados para presentar un buen comportamiento.
Año de construcción	El año de construcción está asociado con la resistencia de códigos de construcción apropiados (inexistentes antes de 1970) e inadecuadamente aplicados (antes de 1980)
Estado de conservación	El grado de conservación califica el posible deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales y de su resistencia a las amenazas
Características del suelo bajo la edificación	El suelo donde está construida es susceptible de facilitar que la amenaza afecte a la edificación. Suelo firme y seco implica menor vulnerabilidad que húmedo.
Topografía del sitio	Si el terreno donde está construida es escarpado genera vulnerabilidades en la edificación, mientras que el terreno a nivel disminuye la vulnerabilidad.
Forma de la construcción	Una forma regular presenta menos vulnerabilidad que una forma irregular para algunas amenazas.

Fuente: (SNGR,2012)

2.2.6 Criterios de evaluación

Como se mencionó en el numeral 2.2.5, la valoración para determinar la vulnerabilidad esta expresada de tal manera, que, al ponderar los resultados de las diferentes variables, se obtenga valores en un rango de 0 (mínima vulnerabilidad) hasta 100 (máxima vulnerabilidad).

A partir de esto y para fines prácticos se ha determinado que el criterio de evaluación será el siguiente:

Tabla 15: Niveles de vulnerabilidad volcánica

PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
0 hasta 33	Baja
34 - 66	Media
Mayor a 66	Alta

Fuente: (SNGR,2012)

2.2.7 Ejemplo de evaluación utilizando el formulario de SNGR.

VARIABLE DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCION DE LA VARIABLE Y USO DE LA INFORMACION	INDICADORES CONSIDERADOS	AMENAZA VOLCANICA	PONDERACION	TOTAL
Sistema Estructural	Describe la tipología estructural predominante en la edificación	Hormigon armado	1	0.5	0.50
		Estructura metalica	5		
		Estructura de madera	10		
		Estructura de caña	10		
		Estructura pared portante	5		
		Mixta madera/hormigon	5		
		Mixta metalica/hormigon	5		
Tipo de material en paredes	Describe el material predominante utilizado en las paredes divisorias de la edificacion	Pared de ladrillo	1	0.8	4.00
		Pared de bloque	5		
		Pared de piedra	5		
		Pared de adobe	5		
		Pared de madera	5		
Tipo de cubierta	Describe el material utilizado como sistema de cubierta de la edificacion	Cubierta metalica	10	3	3.00
		Losa H. Armado	1		
		Vigas de madera y zinc	10		
		Caña y zinc	10		
		Vigas de madera y teja	5		
Sistema de entrepisos	Describe el tipo y material utilizado para el sistema de pisos diferentes a la cubierta	Losa H. Armado	NA	NA	0.00
		Vigas y entramado madera	NA		
		Entramado madera/caña	NA		
		Entramado metalico	NA		
		Entramado hormig/metalico	NA		
Número de pisos	Se considera el numero de pisos como una variable de vulnerabilidad debido a que su altura incide en su comportamiento	1 piso	10	1	5.00
		2 pisos	5		
		3 pisos	1		
		4 pisos	1		
		5 pisos o más	1		
Año de construcción	Permite tener una idea de la posible aplicación de criterios de diseño de defensa contra la amenaza	antes de 1970	10	0.4	0.00
		entre 1971-1980	5		
		entre 1981-1990	1		
		entre 1991-2010	0		
Estado de conservación	El grado de deterioro influye en la vulnerabilidad de la edificacion	Bueno	0	0.5	2.50
		Aceptable	1		
		Regular	5		
		Malo	10		
Caracterisctas del suelo bajo la edificación	El tipo de terreno influye en las características de vulnerabilidad	Firme, seco	0	0.8	0.00
		Inundable	10		
		Ciénaga	10		
		Humedo, blando, relleno	5		
Topografia del sitio	La topografia del sitio de construccion indica posibles debilidades frente a la amenaza	A nivel, terreno plano	1	3	3.00
		Bajo nivel calzada	10		
		Sobre nivel calzada	1		
		Escarpe positivo o negativo	10		
Forma de la construcción	La presencia de irregularidades en la edificacion genera vulnerabilidad	Regular	NA	NA	0.00
		Irregular	NA		
		Irregularidad severa	NA		
				TOTAL	18.00

CAPITULO III DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN Y DELIMITACIÓN

El Club Los Chillos, está localizado en el sector de Selva Alegre, ubicado en Sangolquí, Cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. El sector de estudio abarca el área comprendida entre la calle Anturios hasta la intersección de la calle de la Rosa, la cual se encuentra, dentro de la zona de posible afectación en caso de la erupción del Volcán Cotopaxi. De acuerdo a la información otorgada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, el sector corresponde a la Zona 6 de riesgo. Que comprende 90 lotes, distribuidos en 3 manzanas. Cubriendo un área total de 98525.1726 m².

El sector Club Los Chillos está limitada de la siguiente manera:

- Norte: Urbanización Club Los Cerros
- Este: Río Pita
- Oeste: Río Santa Clara
- Sur: Barrio Carlos Gavilanes



Figura 13: Delimitación del sector de estudio

Fuente: Google Earth

La distancia que existe entre el Club Los Chillos y el volcán Cotopaxi es de 34.97 km.

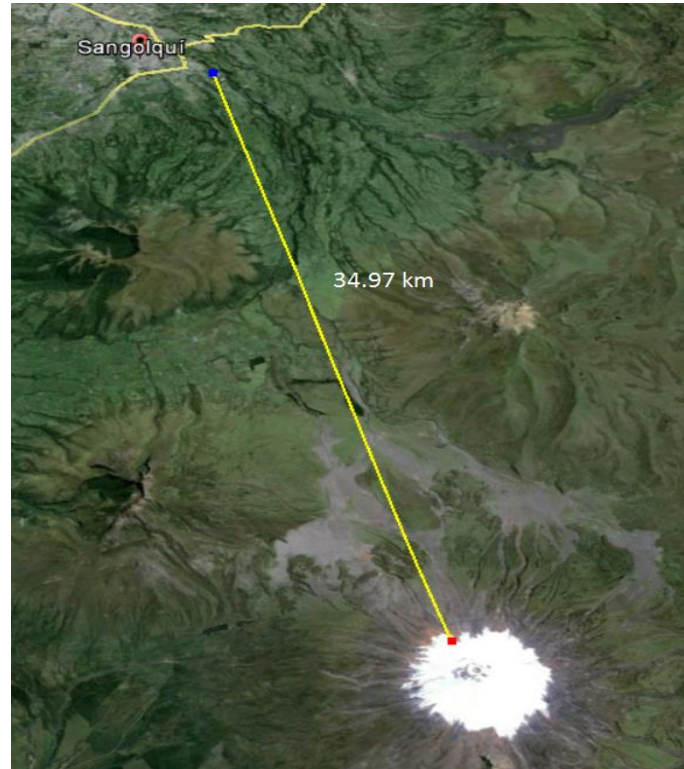


Figura 14: Distancia desde el volcán Cotopaxi hasta Club Los Chillos
Fuente: Google Earth

3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA

3.2.1 Geología

El valle de los Chillos, se encuentra asentada en la falla Angamarca-Machachi-Guayllabamba, atravesando las parroquias de Conocoto y Amaguaña, con una longitud de 32.8 km. Partiendo desde el flanco noroeste del volcán Rumiñahui en dirección suroeste, llegando a los Ilinizas.

A través de los estudios elaborados por el Instituto Geográfico Militar (IGM), identificamos tres unidades geológicas existentes.

Se puede observar la formación por terrazas y grava (arena estratificada) en sectores como Mirasierra y el Triángulo. (Salazar, 2008)

Al norte de Sangolquí, en la Armenia, Guangopolo y Ushimana se observa formación de lahar con bloques, cuyo espesor varía entre 0 a 4 metros, y en una matriz tobácea piedras no estratificadas. (Salazar, 2008)

Se conoce arenas gruesas y duras, sedimentos conglomerados y capas de ceniza estratificada en la geología de las parroquias de Alangasí, Concepción y Píntag. (Salazar, 2008)

3.2.2 Hidrología

Cerca al valle de Los Chillos se observa tres ríos importantes. El primero, el río San Pedro, que va desde el valle de Machachi hasta el valle de Los Chillos, el cual se abastece de pequeños afluentes de la zona. Este río tiene se une al río Santa Clara a nivel de la zona del Triángulo. (Salazar, 2008)

El segundo, el río Pita, se abastece de los deshielos del volcán Cotopaxi y se encuentra casi al pie del Ilaló. El tercero, el río Machangara, que se abastece del río San Pedro. Este atraviesa los valles de Cumbayá-Tumbaco por el oeste y por el este al río Chiche. (Salazar, 2008)

3.3 ANTECEDENTES DE DESASTRES NATURALES

3.3.1 Sismos

El sector de estudio se encuentra situado en la "Falla de Quito", la cual es de tipo inversa, lo que significa que un bloque (Quito) se levanta sobre el otro (Valle de Los Chillos). (Yepes, 2014)

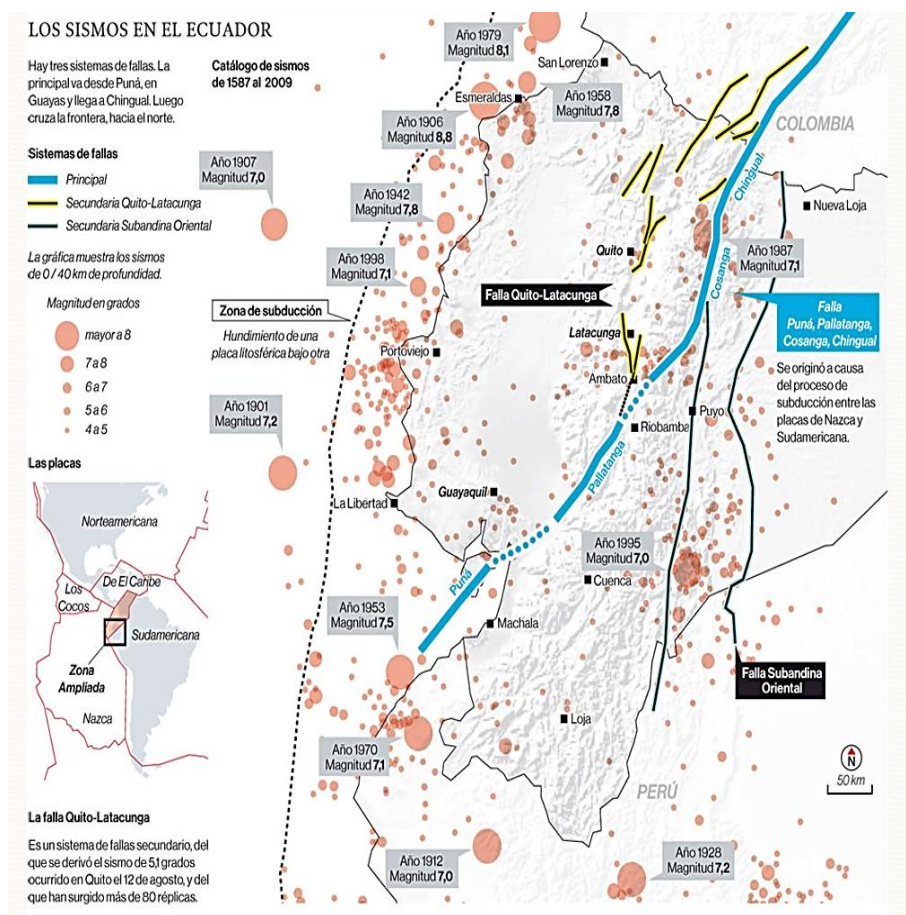


Figura 15: Sismos originados por las diferentes fallas en el Ecuador- Falla Quito Latacunga

Fuente: (El Comercio, 2014)

Una breve reseña de los acontecimientos de sismos en la provincia de Pichincha, empieza con relatos de los españoles desde el año 1587, fue un terremoto devastador, producido en Quito, que no dejó muchas casas en pie. Según las últimas investigaciones se le atribuye un sismo de magnitud entre los 6.4 Mw.

Un sismo asociado por la actividad del volcán Guagua Pichincha se presentó en 1662, causando daños graves en iglesias y viviendas, estos sismos son causados por el patrón de comportamiento de los sismos de la falla de Quito que se extiende por toda la ciudad, entre los días 26 y 28 de abril de 1755. (Salazar, 2008) (Yepes, 2014)

Después de una secuencia de sismos provocando un sismo de gran magnitud, se reportó daños en todos los templos y casas, el cual fue motivo de que muchos pobladores salgan fuera de la ciudad en búsqueda de refugio, así mismo fue en 1787 pero con daños menores por un sismo local de la falla de Quito. (Salazar, 2008) (Yepes, 2014)

El 16 de mayo de 1923 se presentó un sismo que dejó daños más marcados en iglesias de una ciudad que tenía una longitud de la avenida Villa Flora hasta avenida Cristóbal Colón. (Yepes, 2014)

Según vestigios del 9 de agosto de 1938 se presentó un temblor el cual se presume que la Falla de Quito tiene ramificaciones orientales el cual ocurrió un fuerte temblor en el Valle de los Chillos principalmente en Alangasí, Sangolquí y el Tingo. (Yepes, 2014)

Uno de los últimos dos sismos fuertes pasó el 10 de agosto de 1990 en la noche, alcanzó una magnitud de 5.3 Mw dejando daños estructurales a lo largo de la ciudad. (Yepes, 2014)

El 16 de abril de 2016, un terremoto de 7,8 en la escala de Richter, azotó la costa del Ecuador, dejando ciudades enteras devastadas, este echo alarmo tanto a ciudadanos como autoridades, debido a que cientos de casas y edificios se desplomaron, causando la muerte de más de 700 personas. (Bonilla, 2016)

Como se puede observar en la Tabla 3. La intensidad de este terremoto, tomando en cuenta los desastres causados, fue de 9 en la escala de Mercalli.

En la sierra pese a no haber sido una intensidad muy grande, si produjo daños en ciertas viviendas, lo que alerta a los ciudadanos, que, en cualquier momento, puede ocurrir un sismo de mayor magnitud, y los daños serian desastrosos.

3.3.2 Volcán Cotopaxi

La zona de estudio está directamente afecta por la presencia del volcán Cotopaxi, que se encuentra ubicado a 60 km al sureste de Quito y 45 km al norte de Latacunga, situado en la cordillera Real de los Andes del Ecuador, el cual tiene una altura de 5897 m, estando ubicado en (Latitud $0^{\circ} 38'$ Sur; Longitud $78^{\circ}26'$ oeste). (Andrade et al., 2005)



Figura 16: Volcán Cotopaxi
Fuente: (Andrade et al., 2005)

Este accidente geográfico es un estratovolcán joven en forma de un cono de geometría regular simétrica, la medida de la base del cono es de 20 km de diámetro, la inclinación de sus laderas llega hasta 35° , su cráter varía entre 800 m en sentido norte-sur y 650 m en sentido Este-Oeste de diámetro y 334 m de profundidad. (Andrade et al., 2005)

La parte del hielo glacial se conforma en lo más alto del accidente geográfico desde los 4600m por todos los flancos, teniendo un casquete glacial de 14 km² y su volumen estimado de 0.7km³. (Andrade et al., 2005)

Debido a ciertas anomalías térmicas, y una intensa actividad fumarólica, el borde occidental se halla permanentemente sin la presencia de hielo en el interior del cráter. (Ordóñez, Samaniego, Mothes, & Schilling, 2013)

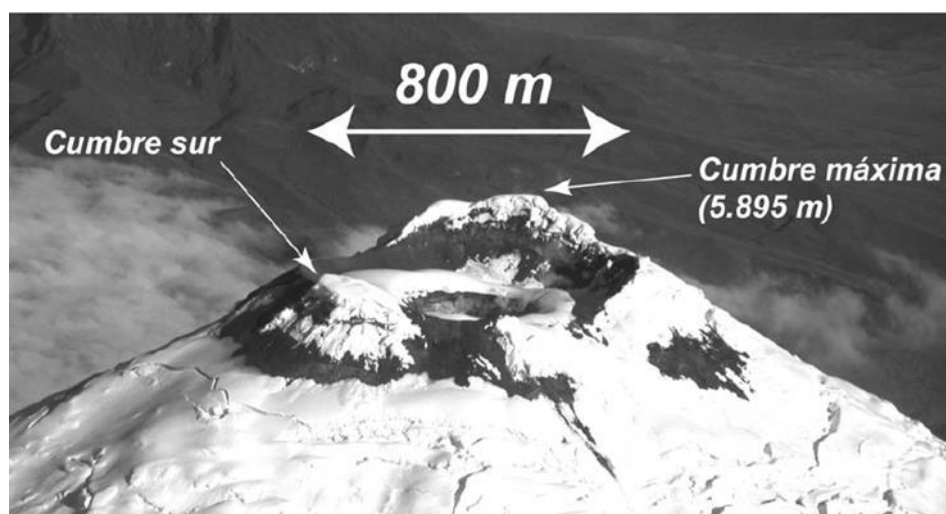


Figura 17: Cráter volcán Cotopaxi

Fuente:(Andrade et al., 2005)

Por consecuencia de los deshielos del volcán, se han formado drenes, donde sus fluidos se transportan mediante numerosas quebradas. Los cuales aportan a tres principales sistemas fluviales, al occidente y al sur, el río Cutuchi, al oriente el río Tambo y al norte el río Pita. (Andrade et al., 2005)

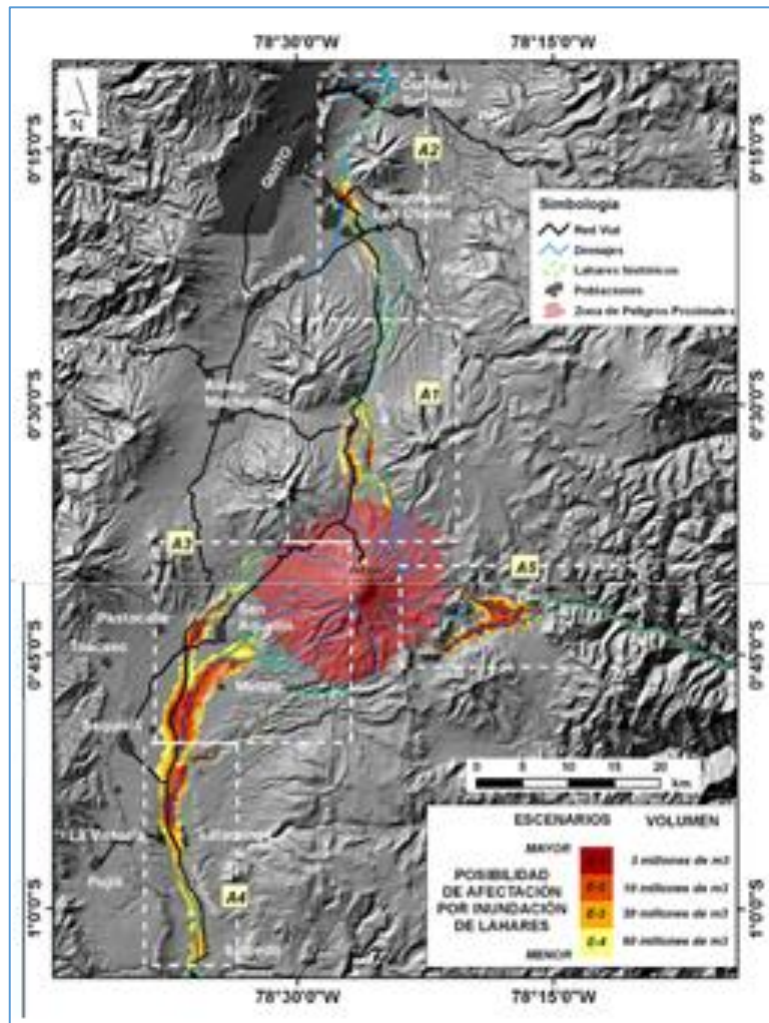


Figura 18: Posibles áreas afectadas debido a la erupción del volcán Cotopaxi

Fuente: (Ordóñez et al., 2013)

3.3.3 Comportamiento e historia eruptiva del volcán

El volcán Cotopaxi ha sufrido a lo largo del tiempo importantes cambios por consecuencia de sucesivos eventos geológicos y volcánicos, para el estudio de la historia geológica del volcán se ha tomado en cuenta dos periodos: El Período Pre- Histórico y El período Histórico. (Andrade et al., 2005)

- **El Período Pre- Histórico**

Científicos e investigadores han realizado distintos estudios sobre cartografía geológica, estratigrafía, análisis químicos en los restos geológicos que ha dejado las diferentes erupciones del volcán a lo largo de los miles de años en que se formó la tierra. Esto dio paso al aparecimiento de accidentes geográficos como el volcán Cotopaxi. Este volcán ha tenido diferentes fases eruptivas, las cuales se han caracterizado por la magnitud y el material expulsado en cada explosión. La actividad volcánica del Cotopaxi es de alrededor de 500 ka (kiloaños) de edad. (Andrade et al., 2005)

Este periodo consta de dos fases: Riolítica y Andesita.

La fase Riolítica, consta de erupciones de magnitudes explosivas y de largo alcance que han afectado superficies considerables. Esta fase continuamente provocaba cambios a la forma del volcán ya que eran demasiado fuertes las explosiones que modificaban por completo al accidente geográfico. (Andrade et al., 2005)

La segunda fase, Andesítica, consta de erupciones leves o moderadas con efectos significativos. Actualmente, dicho volcán, se encuentra en esta fase. (Andrade et al., 2005)

- **El período Histórico**

A este período se lo caracteriza por la descripción con detalle de los acontecimientos que marcaron las historias de las erupciones del volcán Cotopaxi. Comenzando con la llegada de los españoles a tierras ecuatorianas en 1532. (Andrade et al., 2005)

Durante los 500 años de recopilación de datos históricos acerca de erupciones volcánicas del Cotopaxi, se ha determinado cinco ciclos eruptivos; los mismos que han ocurrido entre 1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1854-1855, 1877-1880. (Andrade et al., 2005)

La última erupción volcánica ocurrió el 26 de junio de 1877, la cual fue una explosión violenta que causó un sinnúmero de desastres, causados por el derretimiento a gran escala de los glaciales y la formación de grandes flujos de lodos y escombreras que descendieron por todos los flancos del volcán. Estos flujos destruyeron todo lo que había al paso en el momento de su llegada (casas, haciendas, fabricas, puentes, vías, sistemas de riego), dejando a su paso inundaciones y muchas pérdidas humanas. (Andrade et al., 2005).

Después de dicha erupción, el Cotopaxi se mantuvo erupcionando a escalas menores con caídas de cenizas y pequeños lahares durante el último ciclo. Han pasado 139 años de la última erupción del Cotopaxi, siendo. (Andrade et al., 2005)

Tabla 16: Cuadro de resumen de las erupciones volcánicas del Cotopaxi en los últimos 2000 años

Edad	Principales Erupciones	Emisiones de ceniza	Flujos Piroclásticos	Lahares	Flujos de lava	VEI (Índice de explosividad)
1906 d.C		Si	1	No		
1903-1904	1			Muchos	Si	
1885	1			2 grupos		
1880	1	Si	1	Muchos	Si	2~3
1877	2	Si	1	Muchos	1	4
1853-1854	2	Si	1	Muchos	1	3~4
1768	1	Si	1	Muchos		4
1766	1	Si	1	Muchos		3
1744	1	Si	1	Muchos		4
1743	1	Si	1	Muchos		3~4
1742	3	Si	2	2 grupos		4
1532- 1534 d.C	2	Si	2	2 grupos	1	3~4
900 a.C	4	Si	3	Muchos		3~4
1000 a.C	2	Si	2	2 grupos		4
1180 a.C	1	Si	1	Muchos		3~4
1210 a.C	1	Si	1	2 grupos	1	4
1770 a.C	1	Si	1	Muchos	varios	4
1880 a.C	1	Si	1	2 grupos	1	>4
1880 a.C	1 Si		1	Muchos		4
1880-2000 a.C	1 Si		1			4
Total	28		23 veces	>20 veces	>7	

Fuente: (Andrade et al., 2005)

3.3.4 Tipos de fenómenos volcánicos ocurridos en el volcán Cotopaxi

- **Sismos Volcánicos**

Los volcanes en su mayoría presentan casi siempre actividad sísmica, aun estando en modo pasivo. El aumento de sismicidad del sector donde se encuentra el volcán, tiene una relación directa con su reactivación. Aunque sus magnitudes no son significativas para afectar edificaciones en las cercanías del volcán. (Andrade et al., 2005)

- **Flujos de lava**

Los flujos de lava son un conjunto de rocas fundidas, en estado líquido, que son derramados a través del cráter y las grietas que descienden por los flancos y quebradas. (Andrade et al., 2005)

Para que las rocas se fundan deben tener una temperatura mayor de 900°C y una viscosidad baja. Los magmas más típicos son de tipo andesítico o basáltico, estos llegan a tener una baja velocidad y aparecen en las fases eruptivas poco explosivas, ya que el magma tiene un bajo contenido de gases. (Andrade et al., 2005)

En el caso del volcán Cotopaxi, el último registro de flujo plástico fue en el año 1853, en el cual se describió el descenso por el flanco oriental del volcán. Se detalla que los flujos han viajado entre 6 y 8 km durante los últimos 4000 años. Aunque algunos han llegado a desplazarse 16 km, como el flujo de San Agustín que descendió por los flancos occidentales hacia el pie del volcán. (Andrade et al., 2005)

- **Flujos Piroclásticos (Nubes ardientes)**

Los flujos piroclásticos son mezclas calientes, cuya temperatura supera los 500°C. Son formados por gases, cenizas y fragmentos de roca que alcanzan una velocidad mayor a 200 km/h durante el descenso por los flancos. Se producen impredeciblemente durante fases eruptivas fuertes y explosivas, son fenómenos muy comunes en sus ciclos de los últimos 2000 años. (Andrade et al., 2005)

El mayor peligro de un flujo piroclástico es de provocar una fusión aparentemente instantánea de grandes partes del glaciar, provocado por su alta temperatura, movilidad y volumen. Son capaces de derretir de manera sencilla superficies de hielo y nieve dando el apareamiento de grandes volúmenes de agua en poco tiempo, formando lahares primarios. (Andrade et al., 2005)

- **Lluvia de Ceniza y Piroclásto**

La lluvia de ceniza y piroclásto es un fenómeno que se presenta notablemente cuando se produce la actividad volcánica. Se origina del magma fragmentado en partículas finas, que forma una columna ascendente por la expansión de gases hacia la atmosfera y por efecto de la existencia de corrientes de vientos. Se genera cambios de temperatura entre la columna caliente de gases de la explosión y el aire frío del ambiente. Una vez que tienen contacto estas dos corrientes, toman la misma dirección que el viento, se enfrían y comienzan a descender en forma de lluvia, cubriendo las zonas cercanas al volcán. (Andrade et al., 2005)

En el caso del volcán Cotopaxi, el lugar de destino de la lluvia de cenizas es la zona occidental, ya que los vientos provienen normalmente desde el Este.

Los efectos que produce este fenómeno depende de la acumulación de material volcánico y las características de la zona en la que se encuentre. De manera general, afecta a la salud de la población, flora y fauna, contaminando fuentes de agua y causando daños a maquinarias. (Andrade et al., 2005) (La Hora, 2015)

- **Flujos de lodo y escombros (Lahares)**

Los lahares son el producto de la mezcla de materiales volcánicos (rocas, piedra pómez, arena) con el agua proveniente de lluvias, derretimiento de los casquetes glaciares y derrame de agua de las lagunas en los cráteres.

Estos flujos descienden por efecto la gravedad alcanzando una velocidad de hasta 100 km/h, siguiendo la dirección de quebradas y drenajes naturales, tomando forma de

un río de gran caudal de lodo y escombros. Es el fenómeno volcánico más destructivo y contaminante de una erupción volcánica. (Andrade et al., 2005)

Los lahares en el Cotopaxi son clasificados según su formación, la cual puede ser por dos mecanismos distintos.

- Lahares primarios: son los más destructivos porque son voluminosos, se forman a partir de los flujos piroclásticos que provocan el derretimiento de los casquetes glaciares a gran escala. (Andrade et al., 2005)
- Lahares secundarios: se los conocen como el producto de la acumulación de ceniza y piroclásto que son transportados por la ayuda de la lluvia, la gravedad y el arrastre. Son de tamaños modestos y de menor alcance en todas las direcciones. (Andrade et al., 2005)

3.3.5 Reactivación del Volcán Cotopaxi año 2015

A partir del mes de abril del año 2015, el Instituto Geofísico detectó anomalías en la actividad del volcán Cotopaxi. Durante el mes de mayo se dio aviso a la población sobre el aumento de actividad volcánica y se detectó 4 explosiones con contenido de ceniza, las cuales alcanzaron un promedio de 5 km. (El Telégrafo, 2015)

Se ha registrado una disminución de la actividad en el mes de septiembre del mismo año, sin embargo, en el interior del volcán existía un aumentando la presión producto del movimiento del magma en la profundidad. Esto dio paso a la deformación del volcán y la formación de un pequeño lahar, el cual se registró en la quebrada Agualongo (flanco occidental) junto con deshielo de la zona, ya que no se presenciaron precipitaciones de lluvia en esos días. (Instituto Geofísico, 2015)

3.4 CRECIMIENTO URBANÍSTICO Y DEMOGRÁFICO

3.4.1 Crecimiento urbanístico

El concepto del crecimiento urbanístico es expresado en la expansión de la urbe, distanciada de los centros de las ciudades principalmente en terrenos sin urbanizar. Se identifica por la baja densidad poblacional por hectárea, donde las casas están alejadas de zonas comerciales e industriales y calles de tercer orden, de bajo tránsito. Este crecimiento es dinámico. (Hall et al., 2008)

Se produce por muchos factores de carácter social como estos:

- Crecimiento de la población que viven en otros lugares (aumento demográfico).
- Propagación del espacio urbanizado.
- Aumento de las zonas económicas y laborales.
- Cambios en las estructuras sociales y forma de vida cotidiana por la migración
- Un mayor protagonismo en la estructura territorial.

3.4.2 Crecimiento demográfico

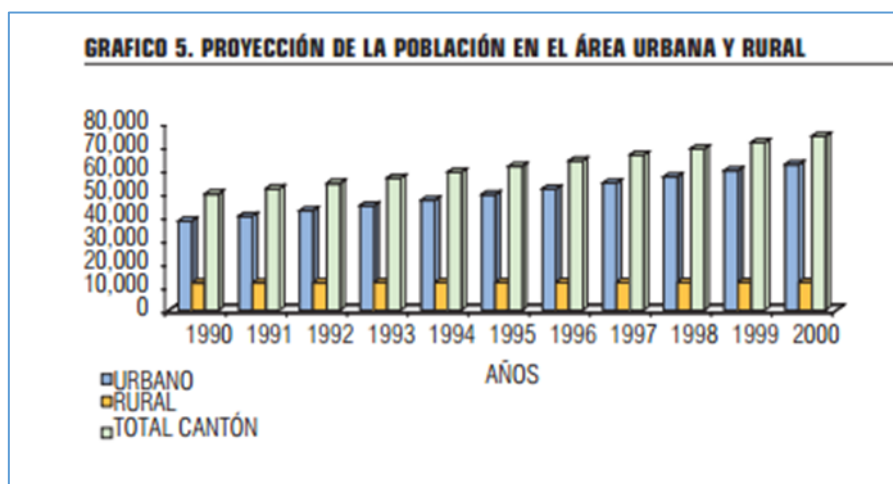
El crecimiento demográfico se define como el aumento de la población en una zona, lugar o región determinado. (Tapia, 2015)

Según los estudios el cantón Rumiñahui alcanzó el 73,4% de crecimiento entre los años 1990-2001, con una densidad de 527,95 habitantes por km², teniendo en cuenta que la tasa anual de crecimiento urbano es de 5,03 y la rural de 0.34. (Tapia, 2015)

Tabla 17: Proyección de la población en el área urbana y rural de Rumiñahui

AÑOS	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
URBANO	38.164	40.292	42.499	44.777	47.115	49.507	51.953	54.466	57.037	59.660	62.327
RURAL	11.670	11.759	11.829	11.885	11.932	11.973	12.006	12.027	12.042	12.054	12.069
TOTAL CANTÓN	49.834	52.051	54.328	56.662	59.047	61.480	63.959	66.493	69.079	71.714	74.397

Fuente: (Tapia, 2015)

**Figura 19: Proyección de la población en el área urbana y rural**

Fuente: (Tapia, 2015)

3.4.3 Densidad de población

La densidad de población se define como el número de personas que viven en el área de una zona. Para el cálculo de la densidad de población se formula una la relación entre el número de personas que viven en una zona y el área. El valle de los chillos tiene una densidad poblacional 90 hab/hectárea. (Tapia, 2015)

3.4.4 Densidad de viviendas

La densidad de viviendas se define como, el número de viviendas que ocupan un área determinada. Un estudio realizado en la zona, determinó una densidad de 16 viviendas por hectárea. (Tapia, 2015)

3.5 INFRAESTRUCTURA

Bienes considerados necesarios, con los cuales las sociedades tienen un funcionamiento, una organización o un sistema para que su desenvolvimiento sea efectivo.

La infraestructura de una ciudad comprende las obras públicas y privadas, por ejemplo: viviendas, edificios públicos, calles, carreteras, pavimento, postes, servicio de energía eléctrica, telefonía, agua potable, alcantarillado, obras civiles. (Hall et al., 2008)

3.6 ZONAS DE EVACUACIÓN

Para determinar la zona de evacuación del sector en estudio, es primordial, conocer el tiempo de llegada de los lahares provenientes del volcán, para así, señalar una zona segura, donde la población deberá dirigirse lo más rápido posible en caso de emergencia.

A continuación, se presenta un gráfico, donde se indica un tiempo aproximado, de llegada de los lahares al valle de los Chillos.

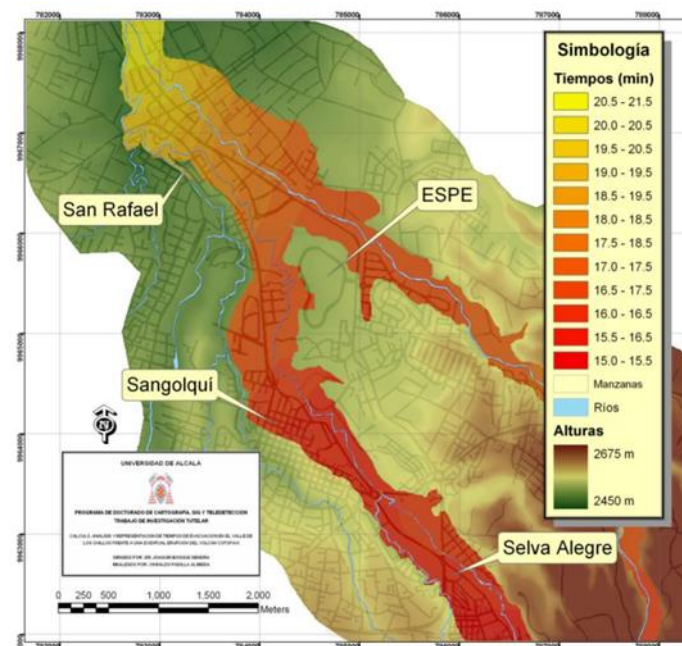


Figura 20: Tiempo estimado de los lahares provenientes del volcán Cotopaxi a los diferentes sectores del valle de los Chillos
Fuente: (Bosque & Padilla, 2012)



Figura 21: Tiempo de llegada de lahares al Club Los Chillos
Fuente: (Bosque & Padilla, 2012)

Tabla 18: Tiempo estimado de llegada de lahares al sector Club Los Chillos

Tiempo estimado de llegada de lahares	15 minutos
--	-------------------

Fuente: (Bosque & Padilla, 2012)

El Club Los Chillos, es un sitio crítico, ya que, como se puede observar en el gráfico, el tiempo estimado de llegada de los lahares, es de 15 minutos. En caso de una emergencia, los moradores el sector, Club Los Chillos, deben dirigirse a zonas seguras, hasta que la situación se normalice.

EL lugar seguro más cercano, se ubica a pocas calles del Club, y es la iglesia de Albornoz. El recorrido se detalla a continuación.



Figura 22: Ruta de evacuación para los moradores del Club Los Chillos

Fuente: (Santos, 2016)

CAPITULO IV ESTUDIO DE VULNERABILIDAD

4.1 VULNERABILIDAD SÍSMICA

4.1.1 Datos obtenidos “Club Los Chillos”

Tabla 19: Resumen de vulnerabilidad sísmica en el sector de estudio

VULNERABILIDAD	NÚMERO DE CASAS	%
MUY ALTA (MA)	2.00	3%
ALTA (A)	1.00	1%
MEDIA (M)	51.00	69%
MEDIA BAJA (MH)	19.00	26%
BAJA (B)	1.00	1%
TOTAL	74.00	100%

4.1.2 Mapa vulnerabilidad en viviendas del sector



Figura 23: Mapa de vulnerabilidad sísmica del sector de estudio

4.1.3 Interpretación de resultados

De un total de 90 lotes, de los cuales 16 son terrenos inhabitados, se determinó la vulnerabilidad sísmica de 74 casas, distribuidas en 3 manzanas, de las cuales se obtuvo los siguientes resultados en porcentaje.

Vulnerabilidad Muy alta= (2 casa, 3%); Alta= (1 casa,1%); las cuales, se deberán someter a una evaluación estructural más detallada, se recomienda el uso de la norma de Evaluación sísmica y reacondicionamiento de edificios existentes ASCE41-13 (Seismic evaluation and retrofit of existing buildings ASCE 41-13), para determinar el estado real de la vivienda. Y su respectiva vulnerabilidad. (FEMA, 2015)

Como se mencionó en el párrafo anterior, existen tres viviendas con vulnerabilidad alta o muy alta, a continuación, se detallan las características de las mismas.

- La primera vivienda, se encuentra ubicada en la manzana 35, lote No.4. Su sistema estructural es pórtico de madera liviano (W1), con un área de construcción de 171 m². Y sus características se muestran a continuación.

Tabla 20: Vivienda No.1 con vulnerabilidad sísmica muy alta

TIPO DE CONSTRUCCION	W1
Puntuación Básica	3.6
Irregularidad Vertical Severa	-1,2
Irregularidad Vertical Moderada	-0.7
Irregularidad en Planta	-1.1
Código Anterior	-1,1
Ultimo Código	1.6
Suelo Tipo A o B	0,1
Suelo Tipo E (1-3 pisos)	0,2
Suelo Tipo E (>3 pisos)	-0,3
TOTAL	3.40

Comparando la puntuación total de la vivienda, con los valores indicados en la Tabla 12, correspondientes al sistema de pórtico liviano de madera (W1). Determinamos el grado muy alto de vulnerabilidad sísmica.

- La segunda vivienda se encuentra en la manzana 41, lote No. 11. Su sistema estructural es pórtico de hormigón armado resistente a momento, con un área de construcción de 110 m². Y sus características se detallan a continuación.

Tabla 21: Vivienda No. 2 con vulnerabilidad sísmica muy alta

TIPO DE CONSTRUCCION	C1 (MRF)
Puntuación Básica	1.5
Irregularidad Vertical Severa	-0,9
Irregularidad Vertical Moderada	-0.5
Irregularidad en Planta	-0.6
Código Anterior	-0,4
Ultimo Código	1.9
Suelo Tipo A o B	0,4
Suelo Tipo E (1-3 pisos)	0,0
Suelo Tipo E (>3 pisos)	-0,5
TOTAL	1.10

Comparando la puntuación total de la vivienda, con los valores indicados en la Tabla 12, correspondientes al sistema estructural de pórtico de hormigón resistente a momento (C1). Determinamos el grado muy alto de vulnerabilidad sísmica.

- Por último, la tercera vivienda donde se obtuvo resultados de vulnerabilidad alta. Se encuentra en la manzana 41, lote No. 20. Su sistema estructural es, pórtico de hormigón armado resistente a momento, con un área de construcción de 240 m². Sus características se detallan a continuación.

Tabla 22: Vivienda No. 3 con vulnerabilidad sísmica alta

TIPO DE CONSTRUCCION	C1 (MRF)
Puntuación Básica	1.5
Irregularidad Vertical Severa	-0,9
Irregularidad Vertical Moderada	-0.5
Irregularidad en Planta	-0.6
Código Anterior	-0,4
Ultimo Código	1.9
Suelo Tipo A o B	0,4
Suelo Tipo E (1-3 pisos)	0,0
Suelo Tipo E (>3 pisos)	-0,5
TOTAL	1.90

Comparando la puntuación total de la vivienda, con los valores indicados en la Tabla 12, correspondientes al sistema estructural de pórtico de hormigón resistente a momento (C1). Determinamos el grado alto de vulnerabilidad sísmica.

Vulnerabilidad media= (51 casa, 69%); estas viviendas, con una vulnerabilidad media. Son consideradas seguras, sin embargo, tienen características negativas que presentan cierta influencia en su grado de vulnerabilidad. Pueden presentarse daños de elementos no estructurales, que deben ser reparados antes de ser habitada nuevamente.

Vulnerabilidad media Baja= (19 casa, 26%); Baja= (1 casa, 1%). Estas viviendas, son consideradas seguras, y resisten sin problema el sismo esperado para este sector.

Tomando como referencia el terremoto de 7.8 grados que se registró el 16 de abril de 2016 en la costa ecuatoriana, donde se evidenció la falta de control en las estructuras de vivienda en el momento de la construcción, lo que dejó como resultado, miles de casas dañadas.

Se conoce que el monto aproximado mínimo para realizar las diferentes actividades de recuperación, tanto estructurales como no estructurales, varía dependiendo del daño causado, siendo este un valor promedio mínimo de 1500 dólares. (Bonilla, 2016)

4.1.4 Sismo 7.8, epicentro en Pedernales

A continuación, se presenta un cuadro donde, se detalla la aceleración, que se registró en el suelo debido a este terremoto, en el sector de Sangolquí.

Tabla 23: PGA del terremoto del 16 de abril, en el sector de Sangolquí

SISMO 7.8	Lugar	Aceleración	Aceleración	PGA
	PEDERNALES	392.00 cm/s ²	3.92 m/s ²	0.40 g
	SANGOLQUI	60.76 cm/s ²	0.61 m/s ²	0.06 g

Fuente: (USGS, 2016)

Como se observa en el cuadro anterior, la aceleración en el Epicentro, es de 0.4g, y la aceleración registrada en el sector de estudio, es apenas el 0.06g.

La evaluación que se realizó luego del evento del 16 de abril de 2016, a las estructuras de viviendas en el Club Los Chillos, es considerando un sismo que genere una aceleración de 0.06g, y se verificó en campo que no sufrieron daños, en ciertas casas de cubiertas de tejas se observó movimiento de las mismas, pero no roturas ni caídas.

4.2 VULNERABILIDAD VOLCÁNICA

4.2.1 Datos obtenidos “Club Los Chillos”

Tabla 24: Resumen de vulnerabilidad volcánica en el sector de estudio

VULNERABILIDAD	NÚMERO DE CASAS	%
ALTA	2	3%
MEDIA	9	12%
BAJA	63	85%
TOTAL	74	100%

4.2.2 Mapa de vulnerabilidad en viviendas del sector



Figura 24: Mapa de vulnerabilidad volcánica del sector de estudio

4.2.3 Interpretación de resultados

De un total de 90 lotes, de los cuales 16 son terrenos inhabitados, se determinó la vulnerabilidad sísmica de 74 casas, distribuidas en 3 manzanas, de las cuales se obtuvo los siguientes resultados en porcentaje.

Vulnerabilidad alta = (2 casas, 3%), viviendas que quedarían totalmente destruidas por consecuencia de la erupción del volcán Cotopaxi. A continuación, se detallan, las características de las viviendas que presentan vulnerabilidad alta, frente a una posible erupción del volcán Cotopaxi.

- La primera vivienda se encuentra ubicada en la manzana 35, lote No. 17.
Su sistema estructural es pórtico de hormigón armado resistente a momento, con un área de construcción de 361 m². Y sus características se detallan a continuación.

Tabla 25: Vivienda No. 1 con vulnerabilidad volcánica alta

VARIABLE DE VULNERABILIDAD	INDICADORES CONSIDERADOS	AMENAZA VOLÁNICA	PONDERACIÓN	TOTAL
Sistema Estructural	Hormigón armado	1	0,5	0,5
Tipo de material en paredes	Pared de bloque	5	0,8	4
Tipo de cubierta	Vigas de madera y teja	5	3	15
Número de pisos	1 piso	10	1	10
Año de construcción	entre 1971-1980	5	0,4	2
Estado de conservación	MALO	10	0,5	5
Características del suelo bajo la edificación	Firme, seco	0	0,8	0
Topografía del sitio	Bajo nivel calzada	10	3	30
			TOTAL	66,5

Comparando la puntuación total de la vivienda, con los valores indicados en la Tabla 15. Determinamos el grado alto de vulnerabilidad frente a una posible erupción del volcán Cotopaxi.

- La segunda vivienda se encuentra ubicada en la manzana 41, lote No. 11.

Su sistema estructural es pórtico de hormigón armado resistente a momento, con un área de construcción de 110 m². Y sus características se detallan a continuación.

Tabla 26: Vivienda No. 2 con vulnerabilidad volcánica alta

VARIABLE DE VULNERABILIDAD	INDICADORES CONSIDERADOS	AMENAZA VOLCANICA	PONDERACION	TOTAL
Sistema Estructural	Mixta metálica/hormigón	5	0.5	2.50
Tipo de material en paredes	Pared de ladrillo	1	0.8	0.80
Tipo de cubierta	Vigas de madera y zinc	10	3	30.00
Número de pisos	1 piso	10	1	10.00
Año de construcción	entre 1981-1990	1	0.4	0.40
Estado de conservación	Regular	5	0.5	2.50
Características del suelo bajo la edificación	Firme, seco	0	0.8	0.00
Topografía del sitio	Bajo nivel calzada	10	3	30.00
			TOTAL	76.20

Comparando la puntuación total de la vivienda, con los valores indicados en la Tabla 15. Determinamos el grado alto de vulnerabilidad frente a una posible erupción del volcán Cotopaxi.

Vulnerabilidad media = (9 casas, 12%), estas viviendas, sufrirían daños en su fachada y cubierta sin embargo con mantenimiento, podrán ser nuevamente utilizadas.

Vulnerabilidad baja = (63 casas, 85%), Estas viviendas, son consideradas seguras. Y no sufrirían daños perjudiciales que comprometan la seguridad de los habitantes.

4.2.4 Vulnerabilidad de edificaciones dentro de la franja de peligro de lahar.

Tabla 27: Resumen de viviendas afectadas, según la franja de peligro que atraviesa el sector de estudio

	VULNERABILIDAD	NÚMERO DE CASAS	%	DESCRIPCION
MANZANA 41	CASA 1 PISO	2	5%	Sumergida totalmente
	CASA 2 PISOS	11	29%	Sumergida parcialmente
MANZANA 40	CASA 1 PISO	4	11%	Sumergida totalmente
	CASA 2 PISOS	21	55%	Sumergida parcialmente
	TOTAL	38	100%	

4.2.5 Mapa de vulnerabilidad en viviendas del sector



Figura 25: Mapa de vulnerabilidad de viviendas afectadas por la franja de peligro de lahar proveniente del volcán Cotopaxi

4.2.6 Interpretación de resultados

Las viviendas dentro de la franja de afectación, por donde se ha determinado el recorrido de los lahares provenientes del volcán Cotopaxi, son un total de 38 casas, a las cuales se las clasifiqué de acuerdo al número de pisos. Y utilizando la referencia de cota del río Santa Clara (diferencia 13 metros respecto al punto más bajo del sector), se determinó:

- 6 casas de un piso, quedarían totalmente sumergidas
- 32 casas, parcialmente sumergidas. Que después del evento, con un mantenimiento adecuado, podrían ser habitadas nuevamente.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se determinó el grado de vulnerabilidad sísmica de todas las viviendas en el sector de estudio (74 casas), basándose en la información mencionada en la Tabla 12, se concluyó que: 4% de las viviendas del sector, obtuvieron valores de índice de vulnerabilidad que califican dentro de una vulnerabilidad alta o muy alta, 69% poseen vulnerabilidad media, y un 27% vulnerabilidad media baja o baja. Estos valores corresponden al comportamiento de las viviendas, en caso de un sismo que genere una aceleración de 0.4g.

De acuerdo a la Tabla 23, la aceleración que se registró en el sector de estudio fue de 0.06g, generada por el sismo de 7.8, con epicentro en Pedernales. Lo que no generó daños en ninguna de las viviendas. Se observó movimiento de tejas en las cubiertas de algunas de las viviendas, sin embargo, esto no representa un peligro a la estructura.

- Se determinó el grado de vulnerabilidad de las 74 casas del sector de estudio, frente a los diferentes escenarios que pueden producirse en una posible erupción del volcán Cotopaxi, como, por ejemplo: caída de ceniza y lahares provenientes del desbordamiento del río Santa Clara.

De acuerdo a lo mencionado en la Tabla 15, se concluyó que: el 3% de las viviendas, se consideran como altamente vulnerables, 12% tienen una vulnerabilidad media, y un 85% posee vulnerabilidad baja.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 19, se concluyó que: dos viviendas tienen vulnerabilidad sísmica muy alta y, una sola casa, posee vulnerabilidad alta. Es decir, tres viviendas de un total de 74 analizadas,

representan un peligro para sus habitantes. La vivienda No. 1, (ver Tabla 20), su principal factor negativo, por el cual se la considera altamente vulnerables, es su sistema estructural de madera, además de tener irregularidades tanto en planta como fachada. Hace que su comportamiento frente a un sismo esperado de 0.4g, no sea el adecuado. Por otra parte, las dos viviendas restantes, (ver Tabla 21 y 22), tienen un sistema estructural de pórtico de hormigón resistente a momento, considerado apropiado en nuestro medio, para un buen comportamiento sismo resistente. Sin embargo, están consideradas, altamente vulnerables, por lo que se determina que, factores como el año de construcción en el caso de la vivienda No. 2 (Tabla 21). y tener una irregularidad vertical severa y, además irregularidad en planta, en el caso de la vivienda No.3 (Tabla 22). Son factores determinantes para generar una vulnerabilidad frente a sismo muy grande.

- En el sector de estudio, de acuerdo a la Tabla 24, donde se indica el resumen de los resultados de vulnerabilidad volcánica de las 74 viviendas analizadas. Se concluyó que, solamente dos viviendas, tiene una vulnerabilidad alta, las características de cada una de ellas están descritas en las Tablas 25 y 26. La vivienda No.1 (Tabla 25), con un sistema estructural de hormigón armado, posee características desfavorables frente a los diferentes escenarios que pueden producirse en una erupción del volcán Cotopaxi, se contempla por ejemplo la caída de ceniza, por lo cual, la cubierta de madera y teja de esta vivienda, será bastante vulnerables al peso extra que se genere por esta acción. Además, el nivel de piso, se

encuentra por debajo de la acera, es decir, en caso de la llegada de lahares por el desbordamiento del río Santa Clara, la vivienda quedaría completamente sumergida. Estos factores hacen de esta vivienda, muy vulnerable a la erupción volcánica. Por otra parte, la vivienda No. 2 (Tabla 26), su sistema estructural mixto de hormigón y metal, y además otros factores como su año de construcción, menor 1986, y que al igual que la vivienda No.1, su nivel de piso está por debajo de la acera. Hacen de esta vivienda muy vulnerable frente a una posible erupción del volcán Cotopaxi.

- El área de estudio de 98525.17 m², correspondientes al Club Los Chillos, que abarca las viviendas desde el Norte, Club Los Cerros, Sur, avenida de las Rosas, Este, calle Juan Salinas, y Oeste, calle Anturios, se verificó la existencia de 90 lotes, los cuales están registrados en los planos catastrales entregados por el Municipio de Sangolquí, de estos lotes, 74 están habitados, y el resto son terrenos vacíos. El levantamiento catastral realizado por el Municipio fue realizado en el año 2014, sin embargo, solo se encontró una vivienda que no está registrada en ellos, debido a que fue construida en el año 2015. La vivienda está ubicada en la manzana 41, lote 18.
- El mapa de vulnerabilidad presentado en la Figura 26, indica el recorrido previsto del lahar generado por el deshielo de los glaciares del volcán Cotopaxi en caso de erupción, el cual llega al Club Los Chillos debido al desbordamiento del río Santa Clara, y afectaría a un sector específico del área total analizada. Este mapa está realizado en base a la información

obtenida del Municipio de Sangolquí, donde se indica que el Club Los Chillos se encuentra dentro de la zona 6 de riesgo, frente a la posible erupción del volcán Cotopaxi. Sabiendo que es una estimación del posible recorrido que tendría el lahar, se obtuvo los siguientes resultados. Todas las casas de un piso, seis en total, quedarían sumergidas totalmente. Y las demás casas, 32 viviendas que tienen dos pisos, estarían sumergidas parcialmente.

- Los mapas de vulnerabilidad (Figura 24, 25 y 26) que dejo como resultado la presente disertación, sirven para que los habitantes del sector tengan conocimiento del estado actual en el cual se encuentran sus viviendas. Y tomen las medidas necesarias, de mantenimiento, o refuerzo para prever daños graves de la estructura, en caso de un fenómeno natural, como sismo o erupción volcánica.
- Con los resultados obtenidos, se recomienda que, en zonas de alto riesgo sísmico, se evite la construcción de edificaciones que presenten, irregularidades verticales severas e irregularidades en planta. Se determinó que estas características son las que más influyen en el desempeño sismo resistente de la edificación de acuerdo a FEMA P154.
- Con el estudio realizado, y los datos obtenidos de vulnerabilidad sísmica, de las 74 viviendas que se encuentran dentro del sector analizado perteneciente al Club Los Chillos. Se determina que, la mayoría de las viviendas están dentro de los rangos de vulnerabilidad sísmica media, esto se debe a que la población que aquí habita, pertenece a clase media-alta, por lo que la mayoría de las viviendas fueron realizadas por profesionales

de la construcción. Siendo este el principal factor para que las estructuras tengan un comportamiento adecuado frente a un posible sismo.

- En cuanto al comportamiento de las estructuras analizadas frente a una posible erupción del volcán Cotopaxi y de acuerdo a la Tabla 6, donde se menciona que la altura esperada del lahar, en este sector, proveniente del desbordamiento del río Santa Clara, es de 25 metros, se recomienda que, el momento de emergencia, es decir ante una inminente erupción, los habitantes, abandonen las viviendas y se dirijan al lugar seguro mencionado en la Figura 22. Debido a que se desconoce la fuerza con la que puede producirse la erupción y los posibles escenarios que puedan afectar al sector.
- Se recomienda que, en el siguiente levantamiento catastral del sector, se realice, la evaluación de vulnerabilidad frente a sismo y erupción volcánica, presentados por FEMA P-154, y Secretaría General de Gestión de Riesgo, respectivamente. Ya que la información que se obtenga, es un complemento necesario e indispensable, tanto para habitantes como para el Municipio.
- Se recomienda, expandir este estudio en todo el valle de los Chillos. Es beneficioso promover los estudios de vulnerabilidad estructural por amenaza sísmica y volcánica en toda zona poblada del país, con el objetivo de estimar los daños potenciales y para futuras construcciones contar con estos análisis para tener presencia del peligro con el que cada zona cuenta y así reducir la vulnerabilidad de las estructuras

- Es de suma importancia que se actualice constantemente y se cumpla el Plan de Ordenamiento Territorial con el fin de regularizar el uso apropiado del suelo y con ello tener un mejor control y evitarían construcciones en zona de riesgos.

REFERENCIAS

- Andrade, D., Hall, M., Mothes, P., Troncoso, L., Eissen, J., & Samaniego, P. et al. (2005). Los Peligros Volcánicos Asociados con el Cotopaxi. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Albornoz, V. (2013). El terremoto de 1987. Recuperado el 15 de 5 de 2016, de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/opinion/terremoto-1987.html>
- Armada de Chile. (2008). Escalas de Sismos y Tsunamis. Recuperado el 13 de 4 de 2016, de Sistema Nacional de Alarma de Maremotos: <http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/escalas.htm>
- BBC. (2016). Terremoto de magnitud 7,8 en la zona costera de Ecuador deja más de 600 muertos. Recuperado el 27 de 5 de 2016, de BBC Mundo: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416_ecuador_terremoto_magnitud_colombia_peru_bm
- Bonilla, M. (2016). Reparación de viviendas activa a Esmeraldas. Recuperado el 12 de 6 de 2016, de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/actualidad/reparacion-viviendas-esmeraldas-terremoto-damnificados.html>

- Bosque, J., & Padilla, O. (2012). CALCULO, ANALISIS Y REPRESENTACION DE TIEMPOS DE EVACUACION EN EL VALLE DE LOS CHILLOS FRENTE A UNA EVENTUAL ERUPCIÓN DEL VOLCÁN COTOPAXI. Sangolquí: Publicaciones ESPE. Obtenido de <http://latingeo.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2012/08/CALCULO-ANALISIS-Y-REPRESENTACION-DE-TIEMPOS-DE-EVACUACION-FRENTE-A-UNA-EVENTUAL-ERUPCI%C3%93N2.pdf>
- Carrillo, L. (2014). Simulación de lahares del volcán Cotopaxi en sus drenajes del lado norte con el uso del programa HEC-RAS. Sangolquí: Publicaciones ESPE.
- D'Ercole, R., Metzger, P., & Sierra, A. (2009). Alerta volcánica y erupción del volcán Pichincha en Quito (1998-1999). *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 487-499.
- Díaz, V. (2016). ¿De qué depende la magnitud de un sismo? Recuperado el 27 de 5 de 2016, de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/tendencias/factores-influencia-magnitud-sismos-terremotos.html>
- Chardon, A. & Leonardo, J. (2002). Indicadores para la Gestión de Riesgos (1st ed.). Bogotá: IDEA UN. Retrieved from <http://idea.unalmzl.edu.co/documentos/Anne-Catherine%20fase%20I.pdf>
- Egred, J. (2016). Un día como hoy - Instituto Geofísico - EPN. Igepn.edu.ec. Retrieved 18 March 2016, from <http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy>
- El Comercio. (26 de 8 de 2014). Ecuador está asentado sobre tres sistemas de fallas geológicas. Recuperado el 23 de 4 de 2016, de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador-asentado-tres-sistemas-fallas-1.html>

- El Telégrafo. (2015). Volcán Cotopaxi - Especial multimedia. [eltelegrafo.com.ec](http://www.eltelegrafo.com.ec). Retrieved 28 March 2016, from <http://www.eltelegrafo.com.ec/especiales/2015/Especial-Volcan-Cotopaxi/>
- FEMA. (2002). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook. Washington D.C: Applied Technology Council.
- FEMA. (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook. Washington D.C: Applied Technology Council.
- Guerrero, G. (26 de 4 de 2016). Desbordamiento de río en Santo Domingo alcanzó al menos 2 metros de altura. Recuperado el 28 de 5 de 2016, de El Universo: <http://www.eluniverso.com/noticias/2016/04/26/nota/5546316/dos-personas-fallecieron-desbordamiento-rio-damas-parroquia>
- Guzmán, O. (2011). Terremoto en Japón. Recuperado el 24 de 3 de 2016, de Blogspot: <http://oscarcong.blogspot.com/2011/03/terremoto-en-japon.html>
- Hall, M., Samaniego, P., Le Pennec, J., & Johnson, J. (2008). Ecuadorian Andes volcanism: A review of Late Pliocene to present activity. Journal Of Volcanology And Geothermal Research, 176(1), 1-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.06.012>
- IGEPN. (2015). Informe Mensual: Volcán Cotopaxi, Mayo 2015. Quito: Publicaciones IGEPN.
- IGEPN. (2016). El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional informa sobre los efectos causados por el terremoto. Recuperado el 18 de 5 de 2016, de Instituto Geofísico: <http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1325-el-instituto-geofisico-de-la-escuela-politecnica-nacional-informa-sobre-los-efectos-causados-por-el-terremoto>

- Instituto Geofísico. (2015). Actualización de la Actividad Eruptiva--Volcán Cotopaxi N°17 - 2015 - Instituto Geofísico - EPN. Igepn.edu.ec. Retrieved 29 March 2016, from <http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1182-actualizacion-de-la-actividad-eruptiva-volcan-cotopaxi-n-17-2015>
- LA HORA. (2015). El agua de Quito no será afectada por el volcán Cotopaxi : Pais : La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo. Lahora.com.ec. Retrieved 28 March 2016, from http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101873114#.VzkR0_nhDIU
- Maskrey, A. (1993). Los Desastres no son Naturales (1st ed.). Panamá. Retrieved from <http://www.la-red.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- MIDUVI. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Quito: NEC.
- Ordóñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., & Schilling, S. (2013). LAS POTENCIALES ZONAS DE INUNDACIÓN POR LAHARES EN EL VOLCÁN COTOPAXI. Quito: Instituto Geofísico.
- Palacio, J., Blum, E., Maruri, R., Ayón, H., & Rodríguez, J. (1988). Contribución al Estudio de Riesgo Sísmico en el Ecuador (1st ed.). Guayaquil: Universidad Estatal de Guayaquil. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/140/1/Contribuci%C3%B3n%20al%20estudio%20de%20riesgo.pdf>
- Peralta, H. (2002). Escenarios de vulnerabilidad y de daño sísmico en las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos en el barrio San Antonio, Cali, Colombia. Cali: Publicaciones Universidad del Valle.

- RISCHIO. (2014). Análisis de los sismos de Quito de agosto de 2014. Recuperado el 10 de 6 de 2016, de Rischio Consultores: <http://www.rischio.ec/index.php/8-noticias-de-actualidad/13-sismo-quito-2014>
- Salazar, D. (2008). Percepción de Amenazas y Riesgos de la Población del Valle de los Chillos (Ecuador) Frente a una Potencial Erupción del Volcán Cotopaxi (Ingeniería). Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Santos, C. (2016). PLAN DE CONTINGENCIA EN UNA EVENTUAL ERUPCIÓN DEL VOLCÁN COTOPAXI CANTÓN RUMIÑAHUI 2015 P.S. Recuperado el 15 de 5 de 2016, de Docplayer: <http://docplayer.es/9273105-Plan-de-contingencia-en-una-eventual-erupcion-del-volcan-cotopaxi-canton-ruminahui-2015-p-s.html>
- SNGR. (2012). Propuesta Metodológica: Análisis de Vulnerabilidad a Nivel Municipal. Quito: AH Editorial.
- USGS. (2016). M7.8 - 29km SSE of Muisne, Ecuador. Recuperado el 18 de 4 de 2016, de U.S. Geological Survey: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#general>
- Tapia, C. (2015). Cantón Ruminahui. Myslide.es. Retrieved 4 April 2016, from <http://myslide.es/documents/114cantonruminahui.html>
- Yepes, H. (2014). Breve reseña de los sismos provenientes de la falla geológica de Quito que han afectado a la capital. Recuperado el 27 de 5 de 2016, de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/actualidad/resena-sismos-falla-geologica-quito.html>

